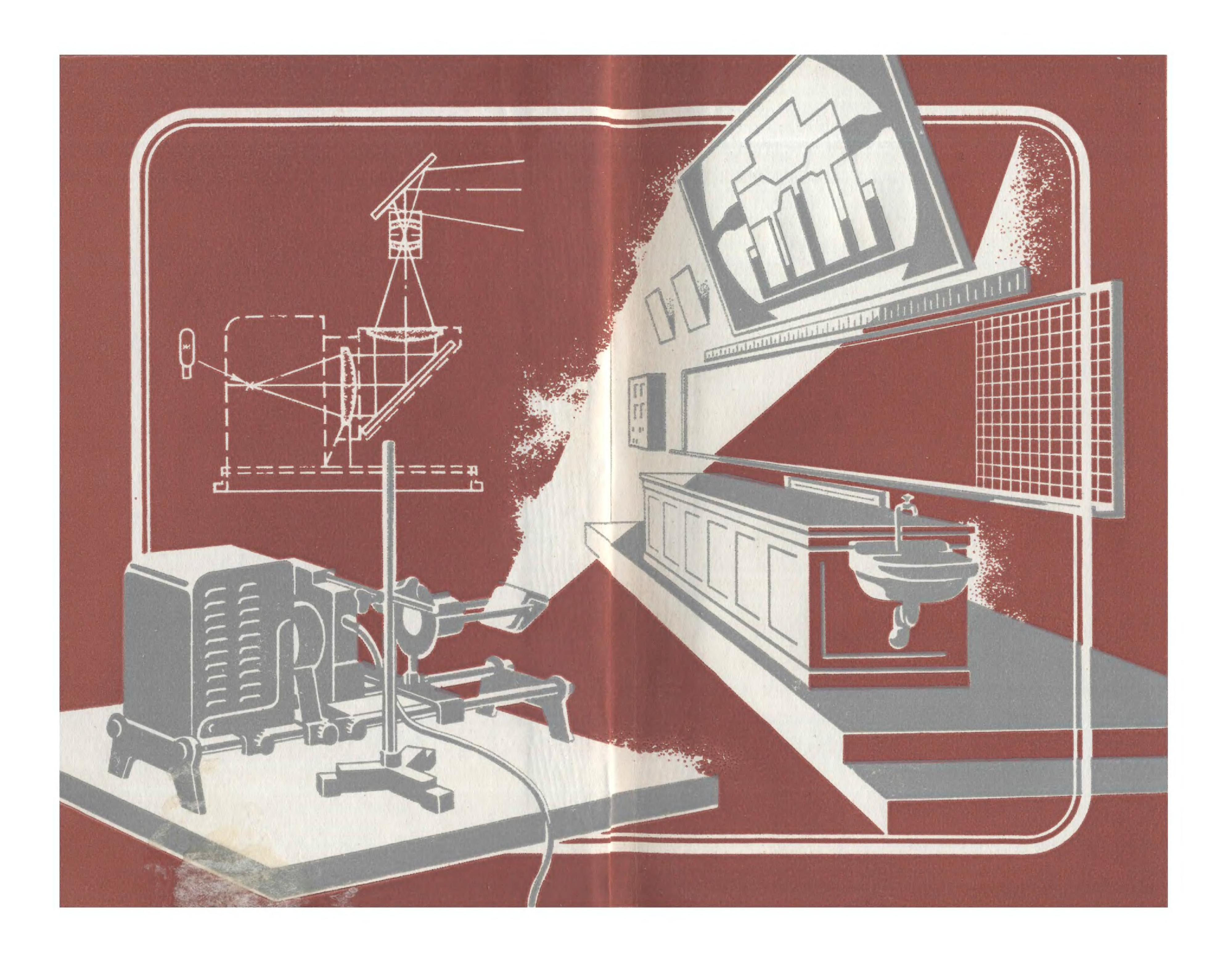
Библиотека учителя физики

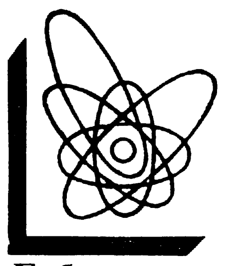
Н. М. Шахмаев В. Ф. Шилов

Физический эксперимент в средней школе

Физический эксперимент в средней школе







Библиотека учителя физики

Н. М. Шахмаев В. Ф. Шилов

Физический эксперимент в средней школе

**Механика.
Молекулярная физика.
Электродинамика**

Рекомендовано Главным учебно-методическим управлением общего среднего образования Госкомитета СССР по народному образованию

Москва «Просвещение» 1989

ББК 74.265.1
Ш31

Рецензенты: учителя физики *А. М. Кливасов* (Москва) и кандидат физико-математических наук *Е. И. Африна* (Москва), кандидат педагогических наук *С. А. Хорошавин* (Белгородский педагогический институт)

Шахмаев Н. М., Шилов В. Ф.
Ш31 Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. — М.: Просвещение, 1989. — 255 с.: ил. — (Б-ка учителя физики). — ISBN-5-09-001316-0

В книге описаны методика и техника постановки демонстрационных опытов по механике, молекулярной физике и электродинамике с использованием приборов, вошедших в «Типовые перечни учебно-наглядных пособий и учебного оборудования для общеобразовательных школ», и самодельных приборов и приспособлений, изготовленных в школьных мастерских.

Ш $\frac{4309000000-676}{103(03)-89}$ подписное ББК 74.265.1

ISBN-5-09-001316-0

ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимость того или иного учебного эксперимента вытекает из содержания курса, определяемого программой и принятой методикой его изложения в учебнике.

На протяжении многих лет в средних школах нашей страны использовалось руководство по учебному эксперименту (Демонстрационный эксперимент по физике. — М.: Просвещение. — Ч. I, II), написанное А. А. Покровским, Б. С. Зворыкиным, В. А. Буровым и др. Но за прошедшие 20 лет с момента первого его издания (1967 г.) изменилось и содержание школьного курса физики, и учебники. Претерпело изменения и учебное оборудование. Появилась необходимость и в изменении руководства по учебному физическому эксперименту с целью его согласования с изменившейся программой и учебниками.

В предлагаемом новом руководстве мы стремились к созданию такой системы учебного демонстрационного эксперимента, которая в максимальной мере соответствовала бы духу и требованиям современной программы и одновременно учитывала бы наиболее значительные изменения в системе учебного оборудования школ. При этом мы старались сохранить все наиболее ценное из того, что создали наши предшественники.

В руководство включены и такие опыты, которые раньше в школах не ставились, но мы не считали возможным значительно увеличивать их число. Новый учебный эксперимент, как правило, появляется в результате развития новых методических идей и в этом отношении является производным от методики.

Однако экспериментальная база преподавания, наличие того или иного оборудования существенно влияют на детали и характер изложения и этим в значительной мере определяют качество знаний учащихся. Поэтому в ряде случаев, когда изучается принципиально важный материал, в книге описаны два, а порой и три варианта одного и того же опыта, но поставленных с разным оборудованием. Это сделано для того, чтобы учитель мог поставить тот вариант опыта, для постановки которого в его кабинете есть необходимое оборудование.

Для постановки описанных в книге демонстраций в основном необходимо только типовое оборудование, предусмотренное «Типовыми перечнями учебно-наглядных пособий и учебного оборудования для общеобразовательных школ» Лишь в незначительном ряде случаев использовано оборудование, не вошедшее в этот пе-

речень. Это, как правило, простые приборы и приспособления, которые могут быть изготовлены под руководством учителя физики или по его просьбе под руководством учителя трудового обучения. Поэтому в книге дано их описание со схемами и эскизами.

Описанию опытов по каждому разделу предшествует методическое введение, в котором даны краткие указания по методике постановки и объяснению опытов.

Описанные в книге опыты прошли многолетнюю проверку в московских школах № 215, 315, 444 и 710. В этой работе принимали участие учителя Э. Г. Басова, Д. М. Левитан, И. В. Ханчина.

Работа между авторами распределена следующим образом: предисловие, введение, разделы II и III, а также § 10, 19 и 20 написаны Н. М. Шахмаевым; раздел I (кроме § 10 и опытов 7—10) и § 18 написаны В. Ф. Шиловым.

Рукопись внимательно и тщательно рецензировали учитель физики школы № 56 Москвы, кандидат физико-математических наук Е. И. Африна, учитель физики школы № 916 Москвы А. М. Кливасов, кандидат педагогических наук С. А. Хорошавин и А. И. Ворнавицкий. Доброжелательная критика, товарищеские советы и пожелания учителей-экспериментаторов и рецензентов способствовали улучшению книги.

Авторы считают своим приятным долгом выразить им благодарность и признательность.

Авторы будут весьма признательны за замечания и советы по усовершенствованию пособия, которые следует присылать в издательство «Просвещение».

О ДЕМОНСТРАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

§ 1. РОЛЬ И МЕСТО УЧЕБНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

Общепризнано, что преподавание физики в средней школе должно опираться на эксперимент. Однако это общее и хорошо известное положение о характере преподавания физики не дает указаний на содержание эксперимента, не показывает его места и не вскрывает его роли в процессе изучения физики.

Для определения содержания, установления места и выявления роли эксперимента и теории в учебном процессе важно определить основные ступени изучения физических явлений в школе. Анализ этих ступеней позволит определить необходимость того или иного эксперимента на каждом этапе.

Задача преподавателя физики сводится в конечном итоге к тому, чтобы в результате его совместной работы с учащимися последние познали мир физических явлений и научились применять полученные знания в своей будущей практической деятельности.

Следовательно, учебный процесс для учащихся является прежде всего процессом познания.

В процессе изучения физических явлений основные этапы познания расчленяются на ряд ступеней, наличие и необходимость которых вытекают из педагогических соображений. Рассмотрим эти ступени.

Наблюдение явления — отправная точка учебного процесса, источник первичных представлений об этом явлении. Наблюдение явления должно происходить в ходе хорошо и выразительно поставленного демонстрационного опыта. Если в силу специфики явления оно доступно лишь для индивидуального наблюдения, опыт должен быть заснят на кинопленку и показан в качестве кинодокумента. К помощи кино следует прибегнуть и в том случае, когда демонстрация опыта невозможна по техническим или экономическим причинам.

В ходе наблюдения учитель должен обратить внимание учеников на наиболее существенные стороны явления.

Качественный анализ изучаемого явления и выявление его связей с другими явлениями. Как бы ни был важен и значителен факт наблюдения изучаемого явления, без глубокого и всестороннего анализа он не имеет самостоятельной ценности.

Первой стадией этого анализа является качественный анализ. На стадии качественного анализа: а) устанавливается связь данного явления с ранее изученными явлениями; б) фиксируется

однородность определенных признаков и связей, но не выясняется конкретная структура этих связей.

Качественный анализ не позволяет точно предсказать течение событий, но может служить базой для формулировки проблемы или для построения гипотезы о сущности наблюдаемого явления, которая, однако, не может быть подвергнута экспериментальной проверке, так как пока еще не введены величины, характеризующие изучаемое явление.

Введение величин, характеризующих изучаемое явление. Это наиболее трудная для преподавателя ступень изучения, без которой не могут быть получены глубокие знания и сформулированы физические теории.

На этой стадии формирования физического понятия мы прибегаем к использованию математики и выражаем вновь введенную величину с помощью математических операций через ранее изученные величины. Этим создаются необходимые предпосылки для измерения величины. Здесь же следует установить единицы для ее измерения.

Конструирование инструментов для измерения введенных величин. Поскольку вновь вводимые величины только тогда начинают «работать», когда мы имеем возможность измерить их на опыте, то для измерения необходимо сконструировать соответствующие приборы. Сказанное не следует понимать как необходимость конструирования приборов на уроке. Этого делать не нужно. Но, вводя новую для учащихся величину, преподаватель обязан показать им принципиальную возможность ее измерения и познакомить их с соответствующим измерительным прибором. Без этого в процессе формирования понятия о физической величине будет допущен существенный пробел.

Строгое (по возможности) определение понятия. Все физические понятия, изучаемые в общем курсе физики, должны быть четко и однозначно определены. Вопрос о форме таких определений должен быть рассмотрен отдельно, но нам представляется необходимым в определениях физических величин дать краткую описательную часть, в которой следует указать характер величины (скалярная или векторная), показать, что характеризует данная величина и как она измеряется.

Учащиеся должны понимать, что дать определение физической величины — это значит установить взаимоотношение этой величины с другими, ранее изученными величинами и указать на возможности ее количественного определения.

Изучение явления с количественной стороны с помощью введенных понятий. Характерной особенностью современной науки вообще и физики в особенности является такое изучение явлений, при котором познание качественных сторон обязательно сочетается с определением количественных соотношений, характеризующих данное явление.

Поэтому для формирования физических понятий и теорий особую ценность приобретают такие эксперименты, которые дают

возможность установить количественные зависимости между физическими величинами в форме математического уравнения, функции и т. п. В этом случае найденная зависимость становится связующим звеном между экспериментом и теорией, между физикой и математикой.

При этом следует иметь в виду, что в ходе эксперимента, как правило, не устанавливается точных формул, а только вскрываются зависимости между величинами. Поэтому в учебном эксперименте часто нет необходимости измерять ту или иную величину в установленных единицах, а можно обойтись измерением в условных единицах. Например, при изучении закона Кулона нет необходимости измерять заряды и силу взаимодействия в кулонах и ньютонах. Важно лишь установить, что при изменении одного из взаимодействующих зарядов в n раз сила взаимодействия также изменяется в n раз.

Физическая теория. Ознакомление с явлением заканчивается на стадии его объяснения с позиций существующей и уже изученной учащимися теории. Если же полученные в процессе изучения явления факты не могут быть объяснены существующей теорией или противоречат ей, появляется потребность в создании новой теории.

Новая теория не является простым обобщением одного или нескольких опытов. Она не является также продуктом вымысла, игры воображения ученого. Созданию теории предшествует длительная деятельность многих ученых, благодаря которой постепенно закладывается ее фундамент в виде понятийного аппарата, экспериментальных фактов и законов. Любая физическая теория — результат научного обобщения всего многообразия опытных фактов.

По выражению М. Борна, «новая теория является гигантским синтезом длинной цепи опытных результатов, а не самопроизвольного колебания мозга» [2][1].

Искусство преподавания физики заключается в том, чтобы найти такое расположение материала, при котором с помощью последовательных, логических операций и рационально подобранного эксперимента при минимальной затрате времени и оптимальном напряжении умственных способностей учащихся можно было бы сформировать основные физические понятия, дать представление об основных физических законах и теориях, развить физическое мышление учащихся.

Процесс обучения физике должен состоять в последовательном формировании новых (для учащихся) физических понятий и теорий на базе немногих фундаментальных положений, опирающихся на опыт. В ходе этого процесса должен в равной мере найти отражение индуктивный характер установления основных физических закономерностей на базе эксперимента и дедуктивный

---

[1] Здесь и далее в квадратных скобках дан порядковый номер из списка литературы, прилагаемого в конце пособия.

характер вывода следствий из установленных таким образом закономерностей с использованием доступного для учащихся математического аппарата.

Используя учебный эксперимент, можно:

а) показать изучаемое явление в педагогически трансформированном виде и тем самым создать необходимую экспериментальную базу для его изучения;

б) проиллюстрировать проявление установленных в науке законов и закономерностей в доступном для учащихся виде и сделать их содержание понятным для учащихся;

в) познакомить учащихся с экспериментальным методом изучения физических явлений;

г) показать применение изученных физических явлений в технике;

д) повысить наглядность преподавания и тем самым сделать изучаемое явление более доступным для учащихся;

е) повысить интерес учащихся к изучаемому явлению.

§ 2. СИСТЕМА УЧЕБНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Одним из условий успешного формирования физических понятий и теорий является система рационально подобранного и тщательно поставленного учебного эксперимента. Попытаемся в общих чертах обрисовать эту систему.

Прежде всего в систему учебного физического эксперимента следует включить небольшое число фундаментальных опытов, составляющих экспериментальную основу современной физики.

Постановка этих опытов в большинстве случаев требует незаурядного экспериментального мастерства и связана с использованием достаточно сложного оборудования.

Та часть фундаментальных опытов, которая в настоящее время пока еще не может быть поставлена в виде демонстрационных опытов из-за сложности, громоздкости или дороговизны установок, должна быть заснята в специальных учебных кинофильмах.

Для преподавания физики наибольшую ценность представляют такие опыты, которые позволяют устанавливать количественные закономерности, характеризующие изучаемое явление. Так как в ходе демонстрационного эксперимента установление количественных соотношений не всегда возможно, то часть фундаментальных опытов должна быть перенесена в специальный лабораторный практикум. В этот же практикум должны быть включены и те фундаментальные опыты, выполняя которые учащиеся будут знакомиться с современным лабораторным оборудованием.

Изучение фундаментальных физических экспериментов во время демонстраций и при самостоятельной работе в лаборатории, ознакомление с частью таких экспериментов по кинофильмам создадут необходимую экспериментальную базу для изучения физики. Опираясь на эти опыты, можно четко и непротиворечиво изложить курс современной физики. Постановка и объяснение

этих опытов должны быть неторопливыми и предельно четкими. Учащиеся должны ясно представить место этих опытов в здании современной физики.

Однако специфика восприятия учебного материала учащимися и педагогические задачи, стоящие перед курсом физики, не позволяют ограничить учебный физический эксперимент постановкой и изучением только фундаментальных опытов, глубокое знание которых в принципе достаточно для понимания современной физики.

С педагогической точки зрения необходима также постановка следующих групп опытов, имеющих большое значение для обучения.

Опыты, иллюстрирующие объяснение преподавателя. Например, при изучении движения по окружности нет принципиальной необходимости в демонстрации этого движения в аудитории, так как учащиеся достаточно часто сталкиваются с этим движением в жизни. Однако каждый учитель знает, что демонстрация этого движения оживляет ход урока, создает положительный эмоциональный фон для восприятия учебного материала.

По-видимому, высокая педагогическая эффективность подобных опытов связана с тем, что учащиеся наблюдают за их ходом с позиции, предварительно выбранной преподавателем, который обращает внимание учащихся только на то, что существенно важно для понимания изучаемого явления.

Опыты, в ходе которых показывается применение изученных физических явлений в технике и изучается принцип работы технических установок. Демонстрация подобных опытов необходима для подготовки учащихся к практической деятельности и для иллюстрации связи физики с техникой. Важно, что при выполнении таких опытов учащиеся не только изучают принцип работы конкретных технических объектов, но и закрепляют и углубляют свои знания об изученном ранее явлении. Учитывая то обстоятельство, что число технических объектов, в которых используются физические явления, обычно весьма велико, следует строго отбирать подобные опыты. При изучении технических объектов не следует обращать внимание учащихся на конструктивные особенности и несущественные детали.

Эффектные опыты, предназначенные для возбуждения интереса учащихся к миру физических явлений. По образному выражению Луи де Бройля, современная наука — «дочь удивления и любопытства, которые всегда являются скрытыми движущими силами, обеспечивающими ее непрерывное развитие» [5]. Эффектный опыт способен пробудить у учащихся интерес к физике, и с этим следует считаться.

Опыты, в ходе которых учитель ставит перед учащимися проблему, над решением которой предстоит работать на данном уроке.

Опыты, предназначенные для проверки ошибочности суждений, высказанных при обсуждении проблемы одним из учащихся.

Хотя первоначальное ознакомление с основными приемами работы в физической лаборатории и первоначальное умение в обращении с лабораторным оборудованием учащиеся получают из наблюдений за работой преподавателя на уроках, отработка соответствующих умений и навыков происходит в процессе самостоятельной экспериментальной работы учащихся в лаборатории. Поэтому в систему учебно-физического эксперимента должны быть включены лабораторные работы учащихся, которым необходимо придать исследовательский характер.

Наконец, наиболее сложные работы исследовательского характера, на проведение которых необходимо 2, а иногда и 4 ч, целесообразно выделить в физический практикум.

Таким образом, в систему школьного физического эксперимента должны войти:

1) Фундаментальные опыты, составляющие экспериментальную основу современной физики (часть в виде демонстраций, выполняемых учителем, а часть в виде лабораторных опытов, проводимых учащимися).

2) Демонстрационные опыты, постановка которых вытекает из педагогических соображений.

3) Фронтальные лабораторные работы.

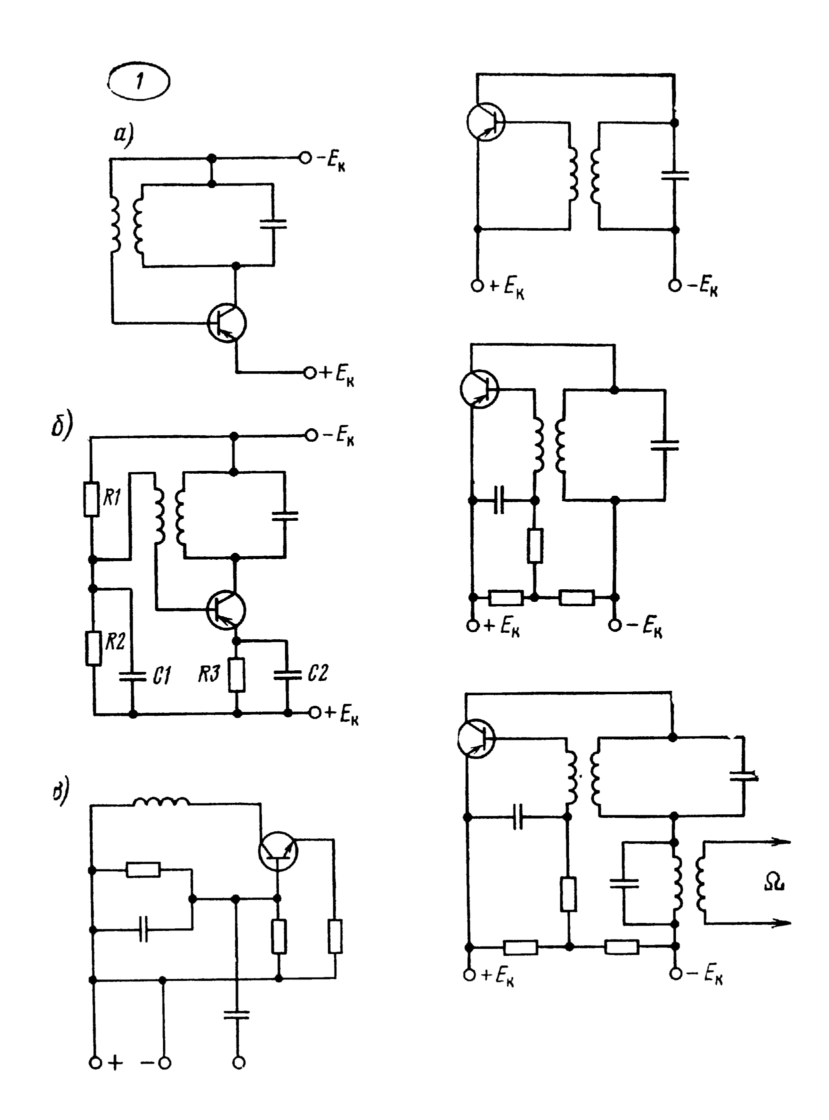
4) Физический практикум.

§ 3. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Выяснив роль и определив место эксперимента в преподавании физики, мы ответили на вопрос о дидактическом назначении учебного эксперимента. Не менее важным является вопрос о том, какие и как следует демонстрировать опыты, чтобы они дали необходимый педагогический эффект.

1. Отбор демонстрационных опытов

Как уже было сказано в предисловии, необходимость того или иного учебного эксперимента определяется принятой методикой изложения учебного материала. Опираясь на принятую методику, необходимо отобрать те опыты, наблюдение которых важно для понимания учащимися учебного материала. Производя отбор демонстрационных опытов, следует стремиться к тому, чтобы все изучаемые явления и их главные применения были показаны в ходе объяснения учебного материала. Однако при этом следует соблюдать меру в отношении числа демонстраций на каждом уроке: оно не должно быть чрезмерным, чтобы не создать впечатления калейдоскопической пестроты, и не должно затруднять запоминание главного, основного. С другой стороны, число демонстрационных опытов не должно быть малым, иначе продолжительные промежутки «словесно-мелового» изложения материала между демонстрациями могут притупить внимание учащихся.



Иногда полезно повторить опыт. Но варианты одного и того же опыта следует демонстрировать только в том случае, если при этом может быть достигнуто более глубокое изучение учебного материала. Из многих вариантов опыта следует отобрать такой, в котором изучаемое явление или его применение проявляется наиболее четко.

Существенно важно, чтобы отобранные опыты в своей совокупности составляли бы не простую сумму, а логически связанную систему, в которой каждый последующий опыт развивал бы предыдущий и опирался бы на него. Важно, чтобы учащиеся видели и понимали эту логическую взаимосвязь опытов.

Поясним сказанное примером. На рисунке 1 приведены схемы демонстрационных установок, с помощью которых объясняются: а) принцип работы автогенератора; б) реальная схема автогенератора; в) принцип амплитудной модуляции. Не составит труда увидеть, что слева изображены схемы трех различных установок, а справа — схема одной установки, в которой по мере необходимости появляется лишь один дополнительный элемент.

Для того чтобы изучить предусмотренный программой учебный материал, учащиеся в первом случае должны дополнительно рассмотреть и понять принцип работы трех установок, тогда как во втором случае всюду фигурирует только одна схема автогенератора с трансформаторной обратной связью. Не менее важно и то, что ученик в первом случае должен запоминать и схемы установок, и процессы, в них происходящие, а во втором — только процессы в хорошо знакомой им установке.

2. Подготовка учащихся к восприятию опыта

Идея опыта, его ход и полученные результаты должны быть понятны учащимся. Поэтому демонстрации опыта должно предшествовать тщательное объяснение его идеи, сопровождаемое, как правило, вычерчиванием схемы установки на доске. После того как учащиеся поймут идею опыта и схему демонстрационной установки, следует приступить к ее сборке. Наблюдения показывают, что демонстрация готовых установок малоэффективна и поэтому не должна допускаться. По той же причине не следует применять готовых щитов, на панели которых дана схема установки, а весь монтаж «спрятан» внутри.

Учащиеся должны видеть сборку демонстрационной установки, ибо в процессе сборки они соотносят элементы схемы с реальной установкой, что способствует более глубокому пониманию изучаемого явления. Кроме того, следует иметь в виду и то, что, наблюдая за действиями учителя при сборке демонстрационной установки, ученик учится эксперименту. При выполнении лабораторных работ и при демонстрации опытов в ходе своих ответов на уроке учащийся, как правило, повторяет действия учителя.

После того как демонстрационная установка собрана, следует еще раз обратить внимание учащихся на тот ее элемент, на котором обнаруживается наблюдаемый эффект. Только после этого можно приступать к проведению опыта. Проведя опыт, надо объяснить его результаты.

3. Общий характер демонстрационных опытов

Демонстрационный опыт по возможности должен быть простым. Однако следует иметь в виду, что сложность и простота того или иного опыта — понятие условное. Так, до недавнего времени демонстрации фазовых соотношений в цепях переменного тока, интерференции электромагнитных волн, законов фотоэффекта и т. п. были очень сложными и не ставились в средней школе. Появление новых приборов, таких, как школьный электронный осцил-

лограф, комплект приборов для изучения свойств электромагнитных волн, усилители постоянного тока и др. позволило весьма просто ставить эти опыты в школьных условиях.

Простота демонстрационного опыта достигается в результате упорной, кропотливой и целеустремленной работы ученых-методистов и передовых учителей, которые творчески приспосабливают опыты, впервые поставленные в научных лабораториях, для целей обучения.

В процессе этого приспособления происходит своеобразное «очищение» экспериментальных установок от всего того, что в процессе обучения не является принципиальным. Само собой разумеется, что педагогически оправдано только такое «очищение» экспериментальных установок, при котором происходит приближение установки к ее принципиальной схеме и не снижается заметно качество ее работы.

Как уже было отмечено выше, демонстрационные опыты должны носить по преимуществу качественный характер. Опыты, связанные с количественными расчетами, отнимают много времени и поэтому должны быть перенесены либо на фронтальную лабораторную работу, либо в практикум. В тех немногих случаях, когда демонстрация должна носить количественный характер, необходимо таким образом подобрать параметры элементов демонстрационной установки, чтобы в результате измерений получились целые числа.

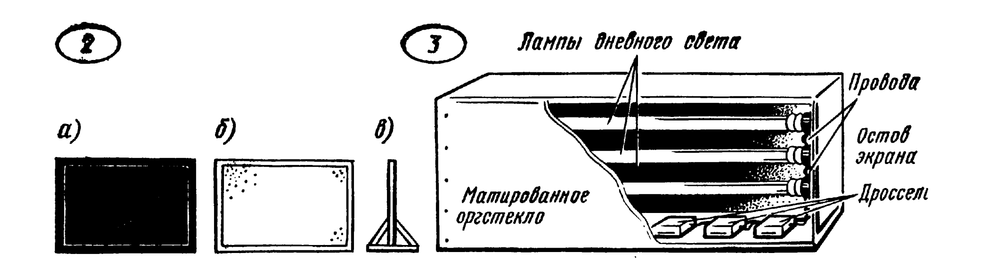
Демонстрационные опыты должны быть кратковременны. В тех случаях, когда опыт идет долго, внимание и интерес учащихся к опыту ослабевают.

Опыт должен быть поставлен так, чтобы его результаты были убедительны и не давали бы учащимся повода для сомнений. Убедительность опыта может быть повышена за счет применения высокочувствительных измерительных приборов и индикаторов, а также путем применения специальных приемов демонстрации, о чем будет сказано позднее.

4. Видимость демонстрационных опытов

Качество демонстрационных опытов в конечном итоге определяется тем, как учащиеся видят демонстрируемое явление. Видимость демонстрационного опыта достигается прежде всего специальной конструкцией демонстрационных приборов. Приборы, используемые для постановки демонстрационных опытов, должны иметь такие размеры, чтобы все учащиеся хорошо видели все необходимые детали. В тех случаях, когда это требование нарушено, мы имеем дело с низкокачественным демонстрационным прибором. Примером такого прибора может служить школьный осциллограф, экран которого мал и не обеспечивает удовлетворительной видимости осциллограмм всем учащимся.

Общеизвестно, что видимость демонстрационной установки значительно повышается при расположении ее узлов в вертикальной плоскости. Поэтому большинство демонстрационных прибо-



ров приспособлено для сборки установок в вертикальной плоскости.

Особенно большое значение для улучшения видимости установок имеет продуманное расположение отдельных ее узлов на демонстрационном столе.

Расположение приборов на демонстрационном столе по возможности должно соответствовать принципиальной схеме установки, которую обязательно надо вычерчивать на классной доске. Необходимо, чтобы схема установки «читалась», а установка на демонстрационном столе «смотрелась» слева направо. В этом случае схема и установка воспринимаются лучше.

Продумывая расположение приборов в демонстрационной установке, надо позаботиться о том, чтобы на уроке можно было ее собрать и провести необходимые манипуляции, не выходя из-за демонстрационного стола и не заслоняя приборов. Кроме того, приборы надо располагать так, чтобы они не заслоняли аудиторную доску.

Для видимости демонстрационных опытов, связанных со сборкой электрических цепей, исключительно важное значение имеют соединительные проводники, которые должны быть хорошо видны всем учащимся.

На видимость установки большое влияние оказывает цвет фона. Поэтому часто имеет смысл располагать приборы на фоне специального экрана. В этом случае контуры приборов очерчиваются резче и становятся хорошо видимыми. В кабинете желательно иметь экран, окрашенный с одной стороны в бело-матовый, а с другой в черно-матовый цвет. Экраны можно изготовить из толстой фанеры (рис. 2). Для установки экрана можно использовать универсальный штатив.

Очень удобен для ряда демонстраций полупрозрачный экран из матированного органического стекла, подсвечиваемый сзади одной или двумя лампами дневного света (рис. 3).

Для улучшения видимости в ряде случаев можно с успехом использовать бруски-подставки, представляющие собой глухие деревянные ящики, противоположные грани которых покрашены белой и черной краской. Весь набор состоит из четырех брусков, имеющих следующие размеры: 50×25×12,5 см — 2 шт.; 25×25×12,5 см — 1 шт.; 25×25×6,25 см — 1 шт.

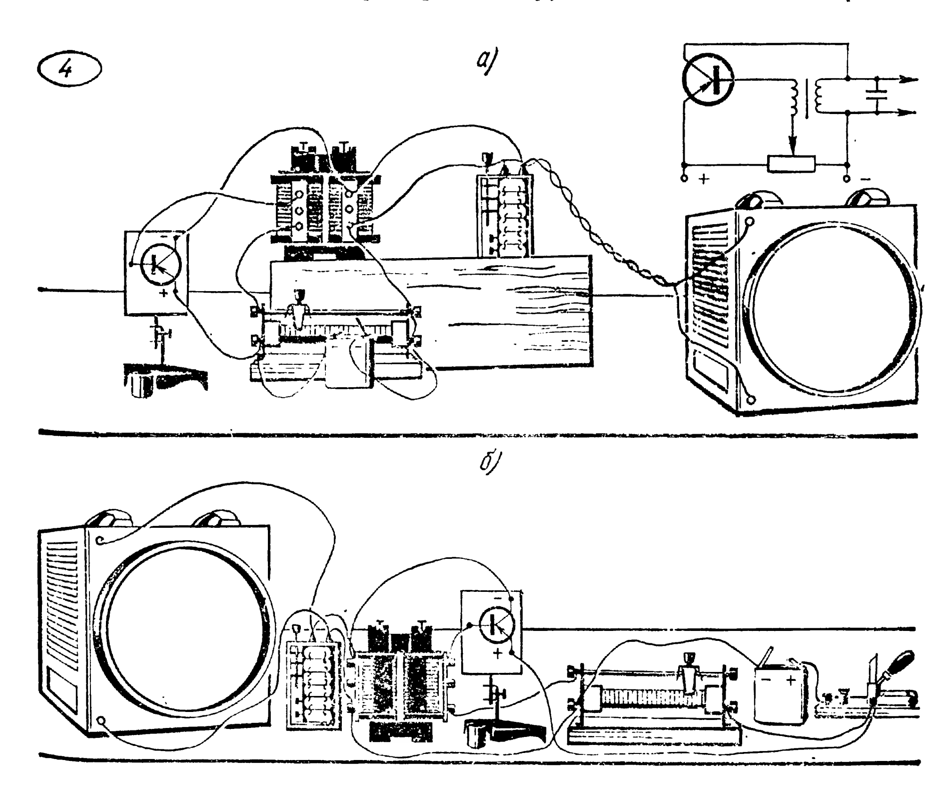
Видимость демонстрационной установки можно улучшить за счет дополнительного освещения. Для этого в физической аудитории следует иметь небольшой сафит с лампой большой мощности, расположенный над первым рядом ученических столов и направленный на демонстрационный стол. Такой сафит, освещая установку со стороны аудитории и сверху, не дает бликов, так как зеркально отраженные лучи падают на пол.

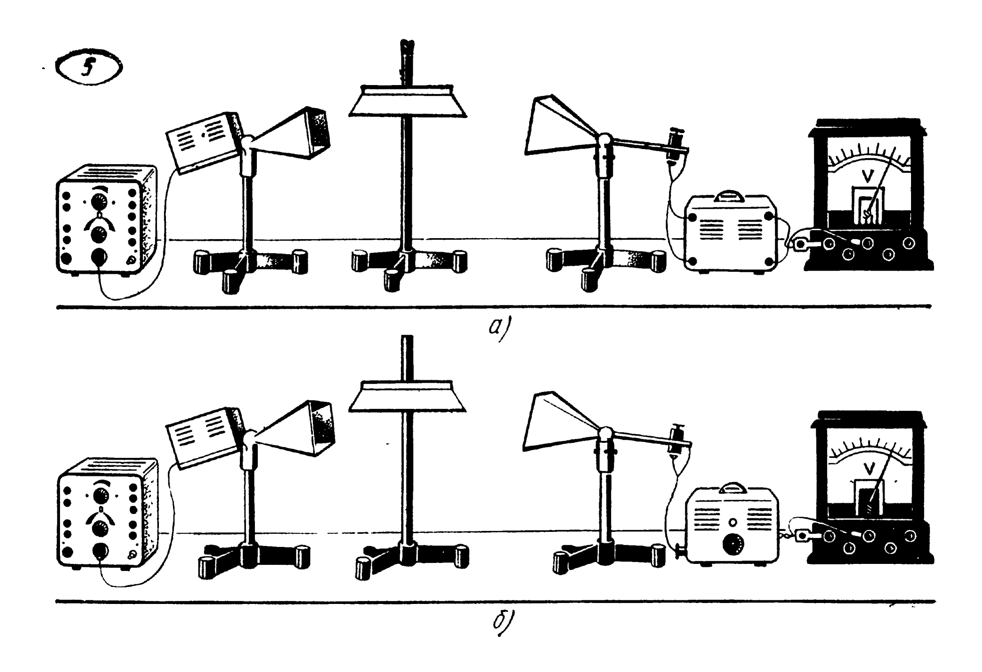
Иногда дает хороший эффект подсветка приборов сзади демонстрационного стола. В этом случае осветитель небольшой мощности надо устанавливать ниже верхней кромки демонстрационного стола и направлять световой поток вверх.

В ряде случаев видимость демонстрационного опыта может быть повышена за счет проекции всей установки или ее основного узла на экран [4].

5. Выразительность демонстрационной установки

С помощью одних и тех же приборов опыт можно поставить по-разному. На рисунке 4 даны две демонстрационные установки (*а* и *б*) для объяснения принципа работы автогенератора, собранные из одних и тех же приборов. Нетрудно заметить, что вырази-





тельность установки, показанной на рисунке 4,*а*, достигнута за счет продуманного расположения всех деталей установки.

Выразительность демонстрационной установки может быть повышена за счет продуманного оформления приборов служебного назначения. На рисунке 5 приведены две установки для изучения отражения электромагнитных волн, собранные из одних и тех же приборов. На установке, показанной на рисунке 5,*б*, использован усилитель низкой частоты в том виде, в каком он выпускается заводом, а на установке, изображенной на рисунке 5,*а*, использован тот же усилитель, но с иным расположением клемм входа и выхода сигнала.

Иногда выразительность демонстрации можно повысить, убрав с демонстрационного стола второстепенные детали. Например, почти во всех демонстрациях при изучении электрических явлений необходим источник тока. Опыт работы показывает, что в ряде случаев демонстрационные установки получаются более выразительными, если источник тока заменить хорошо видимыми клеммами, установленными на вертикальной панели. С обратной стороны клеммы соединяют с источником тока.

6. Подготовка демонстрационных опытов

Качество демонстрационного опыта всегда зависит от экспериментального мастерства учителя и от тщательности подготовки им демонстрации. Иногда на подготовку демонстрации, которая на уроке проходит за одну, максимум за две минуты, опытнейшие преподаватели тратят часы. Известно, что А. С. Попов был та-

лантливым преподавателем, на лекциях которого широко ставился демонстрационный эксперимент. Вот что писал о подготовке А. С. Поповым демонстрационного эксперимента академик А. М. Шателен:

«Он придавал особое значение лекционным демонстрациям. Он сам проектировал эти демонстрации, сам придумывал способы их осуществления и часто сам вместе с ассистентами часами готовил демонстрации в аудитории и перед лекциями. Демонстрации выходили блестящими, и многие из них осваивались затем кафедрами физики других высших школ. Некоторые лекционные опыты, как, например, опыт для демонстрации медленности нарастания тока в цепях с большой самоиндукцией (закон Гельмгольца), становились классическими и известными под названием «опытов Попова» [9].

Следует, однако, заметить, что много времени требует для своей наладки опыт, который учитель ставит впервые. После того как опыт отработан во всех деталях, его повторение не требует больших затрат времени. Из своего многолетнего опыта работы в школе мы убедились в пользе ведения специального лабораторного журнала, в который записываются все необходимые данные для повторения однажды поставленного опыта (схема, данные приборов, наиболее удачное расположение и т. д.).

Особое внимание следует обратить на такие детали в постановке опыта, которые обычно не бросаются в глаза и тем не менее влияние которых на ход, а иногда и на исход демонстрации весьма велико. Такие детали являются своеобразными изюминками, знание или незнание которых влияет на успешность опыта. Так, например, иногда правильно собранный генератор не возбуждается. Однако достаточно временно уменьшить емкость конденсатора контура, чтобы генерация возникла. Иногда в генераторе УВЧ разогревается до белого каления анод и генератор не излучает волн. Тогда необходимо чуть-чуть отодвинуть излучающую антенну, и генератор начинает работать нормально.

Почти в каждой демонстрации есть такие секреты, которые необходимо записывать в лабораторный журнал.

Молодому преподавателю весьма полезно в процессе подготовки к уроку несколько раз повторить демонстрационный опыт. Такая тренировка способствует выработке весьма ценных навыков и служит гарантией успешной постановки опыта на уроке.

Кроме того, в процессе подобной тренировки могут появиться идеи по усовершенствованию техники и методики эксперимента, усовершенствованию прибора и т. д.

7. Когда собирать демонстрационную установку на уроке?

После того как демонстрация тщательно подготовлена и всесторонне опробована, необходимо отметить найденное расположение приборов, а затем установку, как правило, надо разобрать. Использованные в установке приборы и детали следует расположить на полочках демонстрационного стола, а громоздкие — на

полу около стола. Это следует делать потому, что: а) заранее собранная на столе установка (особенно, если она сложная) плохо воспринимается учащимися; значительно лучше воспримут ее учащиеся, наблюдая за сборкой; б) заранее собранная установка, стоящая с начала урока на столе, неизбежно будет отвлекать внимание учащихся от объяснения учителя. Но если демонстрируемый опыт требует длительной настройки, то разбирать подготовленную установку не следует.

8. Надежность демонстрационной установки

Особое внимание учителю надо обратить на надежность демонстрационной установки. Демонстрационная установка должна практически исключать отказ на уроке. Следует иметь в виду, что ничто так не подрывает профессиональный авторитет учителя физики, как неудавшийся опыт. Один неудавшийся опыт затмевает в глазах учащихся десятки опытов, поставленных им удачно.

В случае отказа установки на уроке надо не спеша проверить все ее узлы и обнаружить неисправность. Если есть возможность, надо быстро устранить обнаруженную неисправность. Если такой возможности нет — указать на эту неисправность учащимся и обязательно поставить опыт на ближайшем уроке.

9. О числе демонстрационных опытов на уроке

Демонстрационные опыты — обязательное условие, а не дополнение к объяснению учителя. Все важнейшие положения, изучаемые на уроке, должны, как правило, сопровождаться демонстрационными опытами. Однако число демонстраций не должно быть чрезмерным. Наблюдения за работой лучших учителей показывают, что на их уроках ставятся обычно 2—3, редко 4 демонстрации. В этом случае учителю удается тщательно подготовить учащихся к восприятию опыта и хорошо объяснить его результаты. Учащиеся на таком уроке работают с оптимальным напряжением и вниманием.

§ 4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Собирая электрические цепи и производя необходимые манипуляции в электрических цепях при демонстрации опытов, учитель должен неукоснительно соблюдать правила безопасного труда. Эксплуатация электрического оборудования с точки зрения этих правил коренным образом отличается от условий эксплуатации другого оборудования кабинета.

Обычно угроза травмы сопровождается некоторыми признаками, на которые могут реагировать органы чувств человека. Запах ядовитого газа, вид движущихся частей установки, свист вырвавшегося пара и т. д. помогают принять какие-либо меры предосторожности.

Иначе обстоит дело при работе с электрическими установками. Учащиеся не видят очагов опасности и не подозревают о ней.

Электропроводка в кабинете физики должна быть выполнена в соответствии с техническими нормами. Подводка тока к демонстрационному столу должна быть сделана через специальный выключатель, расположенный вблизи демонстрационного стола. Учащимся нужно показать, где расположен этот выключатель, для того чтобы при необходимости они могли обесточить демонстрационный стол. Крышка демонстрационного стола и постамент, на котором установлен демонстрационный стол, должны быть изготовлены из хорошо изолирующего материала.

Электрические цепи можно собирать и исправления в собранных цепях разрешается делать только после отключения цепи от источника напряжения.

При работе с выпрямителями, снабженными фильтрами, следует иметь в виду, что после отключения выпрямителя от сети конденсаторы остаются заряженными и их нужно разрядить, прежде чем приступить к исправлению в цепи.

§ 5. ОБОРУДОВАНИЕ АУДИТОРИИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ

Как уже было сказано выше, успешность преподавания физики, прочность и глубина понимания учащимися изучаемого материала во многом зависят от частоты и качества постановки учителем демонстрационных опытов. Эпизодическая их демонстрация, как и примитивность их постановки, не только не помогает, но, что хуже, порой мешает работе, так как убивает интерес к физике.

В свою очередь частота, успешность и выразительность демонстрационных опытов зависят не только, а иногда и не столько от имеющегося в кабинете физики оборудования, сколько от приспособленности аудитории физического кабинета к постановке демонстрационных опытов. В хорошо оборудованной аудитории многие демонстрационные опыты при отсутствии стандартных промышленных приборов можно поставить на самодельном оборудовании, изготовленном учащимися.

Кроме того, и это весьма существенно для учителя, рационально оборудованная аудитория физического кабинета во много раз снижает затраты труда и времени на постановку демонстрационных опытов. Поэтому не следует жалеть времени и сил, потраченных на оборудование аудитории физического кабинета.

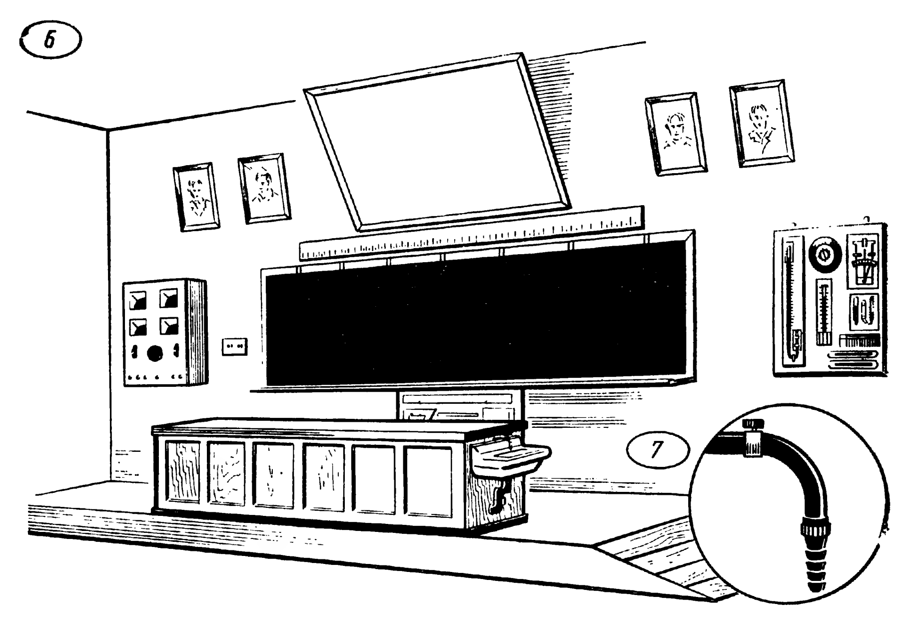
Ниже описано оборудование аудитории, разработанное членом-корреспондентом АПН СССР Б. С. Зворыкиным. Время показало, что подобное оборудование аудитории, будучи простым и доступным для повторения, в то же время является весьма удобным в повседневной работе учителя.

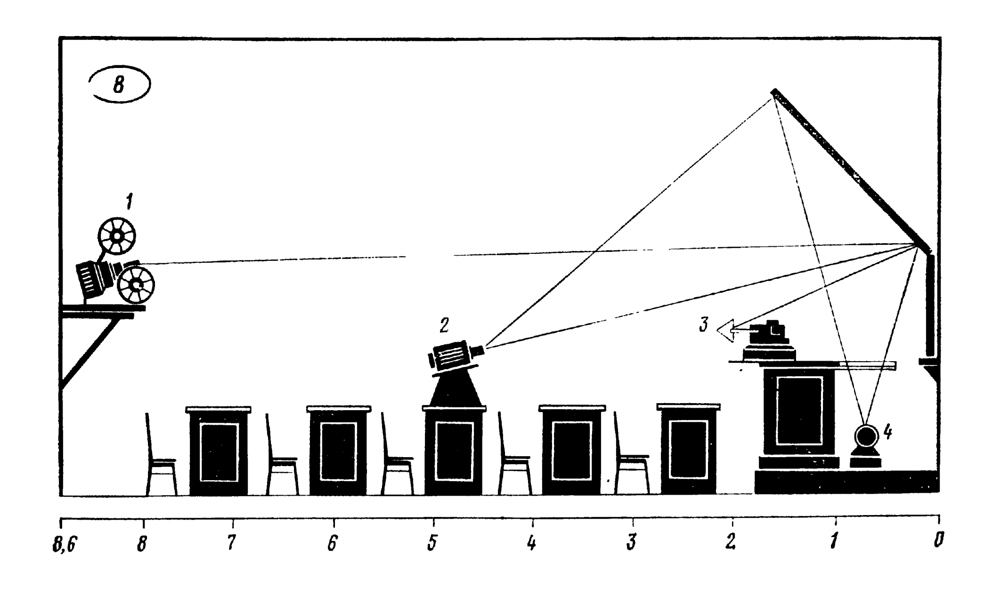
Демонстрационный стол

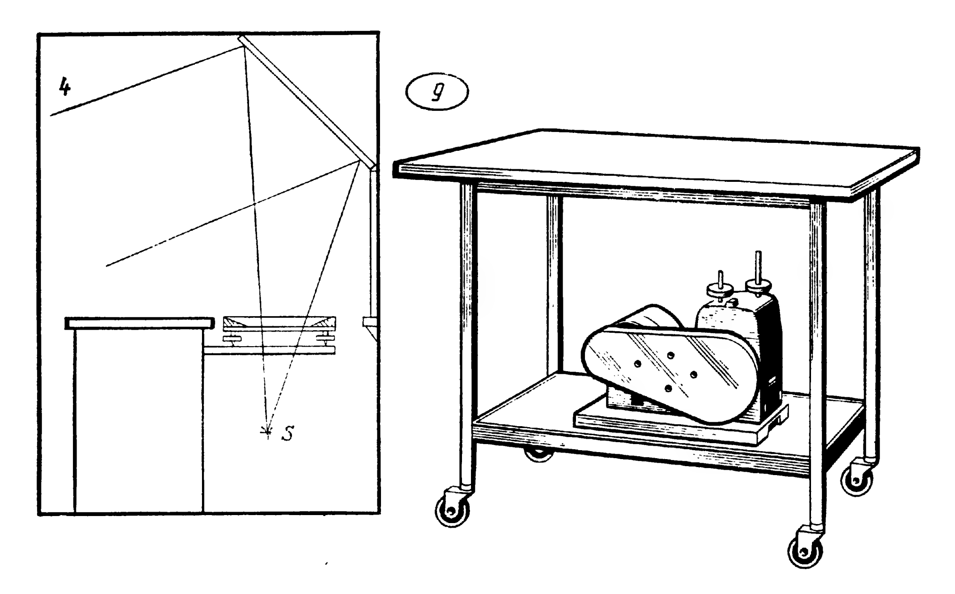
Учитель физики проводит бóльшую часть урока за демонстрационным столом или около него. От качества этого стола и его оснащения во многом зависит качество постановки демонстрационных опытов. Удобен стол длиной 300 см, шириной 80 см и высотой 90 см. Поверхность стола лучше всего покрыть гладким пластиком, приклеив пластик к столу эпоксидной смолой. К столу должна быть подведена вода и слив. Раковину следует расположить с левой стороны стола (рис. 6). На кране следует сделать зажим с клеммой для заземления и навернуть специальную насадку, позволяющую надевать резиновые трубки разного диаметра (рис. 7).

На задней стенке стола (под его крышкой) следует установить розетки, к которым подвести постоянный и переменный ток постоянных и переменных напряжений. Около розеток должны быть четкие, хорошо видимые надписи (например: 220 В; —; ~). Регулируемые напряжения должны быть подведены от школьного щита питания любого типа, который надо обязательно включить через выпускаемое промышленностью устройство защитного отключения (УЗОШ). В шкафах типа КЭФ этого делать не надо, так как УЗОШ в них уже установлено. Щит удобнее всего расположить справа от классной доски.

В подстолье (со стороны учителя) удобно подвести газ. В этом случае в лаборантской обязательно должен быть установлен кран для включения газа в аудиторию. Газ подается к демонстрацион-







ному столу только в тех немногих случаях, когда он нужен для постановки опытов. В остальное время кран в лаборантской должен перекрывать поступление газа к демонстрационному столу.

Для лучшей видимости демонстрируемых опытов демонстрационный стол надо установить на невысокий (20—25 см) прочный помост. При изготовлении помоста и установки на нем демонстрационного стола надо принять все возможные меры для того, чтобы исключить колебание стола. Это существенно важно

для демонстрации ряда опытов (например, при демонстрации опытов на поверхности воды и др.).

В тумбочке стола справа удобно хранить деревянные ящики-подставки, используемые при постановке демонстрационных опытов. В ящиках справа — подсобные принадлежности для демонстраций (комплекты проводников, демонстрационные штативы с принадлежностями, резиновые трубки и т. д.). В стойке слева и в ящиках справа удобно хранить лабораторные штативы и принадлежности к ним.

Непосредственно под крышкой стола между тумбами надо аккуратно прорезать два прямоугольных отверстия размером 40×80 мм, отстоящие друг от друга на расстоянии чуть меньше ширины волновой ванны. На вставленные в эти отверстия деревянные бруски устанавливается проекционная волновая ванна (рис. 8).

При установке стола надо принять все меры, для того чтобы крышка стола была строго горизонтальна. Стол должен быть установлен на расстоянии не меньше 1 м от классной доски.

Очень удобно иметь к демонстрационному столу стол-приставку, в качестве которого можно использовать практически любой стол, проведя лишь незначительное его дооборудование. К такому столу-приставке желательно прикрепить колесики, сделать низкое подстолье (рис. 9), покрыть крышку пластиком. Высота стола-приставки должна быть такой же, как и высота демонстрационного, а ширина должна позволять вывозить в нужных случаях из препараторской. Стол-приставка очень нужен при демонстрации таких опытов, когда длина демонстрационного стола недостаточна. Кроме того, на нем удобно ввозить и вывозить из кабинета временно не используемые приборы.

Стол учителя

Справа от демонстрационного стола на помосте удобно иметь небольшой письменный стол для учителя. В ящиках стола хранится различная документация: планы и конспекты уроков, заметки учителя, дневник, учебники, сборники задач и другие книги, подготовленные к уроку, микрокалькулятор и т. д. Отдельный письменный стол учителю крайне необходим, так как демонстрационный стол очень высок и занят обычно приборами. Кроме того, учитель, сидящий за демонстрационным столом, мешает учащимся, работающим у классной доски.

Классная доска

В аудитории кабинета физики необходимо иметь большую классную доску. Обычная классная доска для аудитории мала. Особенно остро это ощущается при работе в старших классах и при опросе учащихся, когда надо предоставить возможность использовать площадь доски двум ученикам. Нижний край доски

должен находиться чуть выше демонстрационного стола, а верхний — не выше 2 м от уровня помоста. Такое расположение доски обеспечивает хорошую видимость для учащихся всего на ней изображенного.

Лучший цвет доски темно-зеленый, хуже коричневый. Совсем непригоден черный цвет.

Доска обрамлена рамой с широким и глубоким желобом внизу, который имеет небольшой наклон в сторону раковины. Это сделано для того, чтобы при демонстрации опытов с использованием воды (траектории движения струи воды) вода стекала по желобу в ведро.

Над доской вдоль всей ее длины установлена труба диаметром 20 мм, на которую надеты шесть передвижных колец с крюками. На крюках можно крепить схемы, рисунки, демонстрационные блоки и т. д.

Внизу у доски в зажимах укреплена указка, чертежные принадлежности (циркуль, транспортир, две линейки, угольник, лекало для доски и трафарет синусоиды).

На раме доски, в левом ее углу, ввинчены два шурупа для крепления дугообразного лотка, с помощью которого демонстрируется движение тела, брошенного горизонтально.

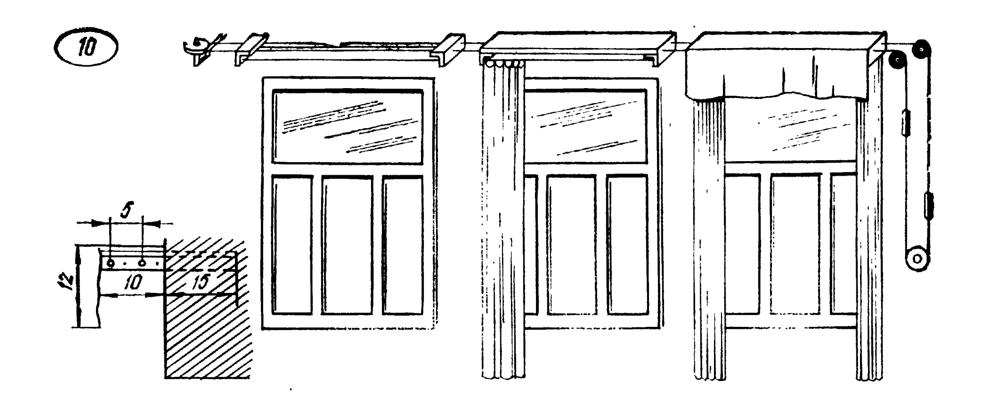
Левая часть доски тонким шилом разграфлена на клетки со стороной 50 мм. Разграфленную часть доски используют для построения параболы, по которой движется шарик, пущенный из лотка. Линии, нанесенные шилом, а не масляной краской, как обычно, удобны тем, что невидимы учащимся и не загромождают чертежи и схемы.

Значение классной доски в преподавании физики огромно, и от умелого ее использования во многом зависит успех работы учителя. Поэтому чертежу, рисунку и записи на классной доске необходимо уделять большое внимание. Надо использовать цветные мелки, трафареты, а иногда и чертежные принадлежности. Справа, внизу классной доски, в специальном ящике удобно хранить цветные мелки.

Устройство затемнения

Ряд демонстраций ставится в затемненном помещении. Затемнение необходимо и для демонстрации кинофильмов и диапозитивов. Поэтому устройству затемнения аудитории надо уделить серьезное внимание. На рисунке 10 приведена схема очень простого, надежного и дешевого устройства для затемнения аудитории.

По бокам окон вделаны на цементе на глубину 100—120 мм уголки с просверленными в них отверстиями. Между уголками с помощью гаек натянуты стальные прутки диаметром 5 мм. На прутки надеты кольца с прикрепленными к ним шторами. У крайних окон укреплены блоки, на которые натянут стальной трос диаметром 3 мм.



Крайние кольца штор прикреплены к тросу так, что при движении троса шторы раздвигаются и сдвигаются. Для того чтобы было удобно закрывать и открывать шторы, на тросе сделаны два утолщения. Шторы выполнены из плотного материала с подкладкой по ширине чуть больше ширины окна. Такая ширина штор обеспечивает двойное закрытие окон.

Проекционное оборудование

Применение проекции в преподавании физики весьма широко и разнообразно. Кроме проецирования кинофильмов, диапозитивов на стекле и пленке, непрозрачных картин, чертежей и рисунков, учителю физики приходится показывать на экране также некоторые физические явления с помощью действующих приборов и приспособлений (электролиз, капиллярные явления, кристаллизация некоторых веществ, критическое состояние вещества, картины магнитных и электростатических полей и т. д.).

Иногда бывает удобно показать на экране устройство тех или иных деталей. Кроме того, часто приходится прибегать к методу теневого проецирования (например, для демонстрации конвекции в воздухе, волн на поверхности воды и т. д.). Это заставило нас искать наиболее рациональные способы размещения проекционной аппаратуры.

Наиболее удобной оказалась система размещения проекционного оборудования, разработанная в образцовом физическом кабинете АПН РСФСР Б. С. Зворыкиным и А. П. Кузьминым под руководством А. А. Покровского [4].

Над классной доской (см. рис. 6, 8) под углом 30—35° к стене удобно установить натянутый на подрамник киноэкран ЭП-1 размером 1,75×1,5 м. Специальное покрытие экрана обеспечивает хорошее качество проекции. На рисунке 8 показано расположение экрана и различных проекционных аппаратов в аудитории.

Универсальный проекционный аппарат для проецирования приборов и демонстрации опытов устанавливается на демонстрационном столе. Такое расположение аппарата очень удобно.

Раздел I
МЕХАНИКА

§ 6. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО МЕХАНИКЕ

Общеизвестно, что механика от момента своего возникновения и до наших дней для решения стоящих перед ней проблем использует эксперимент столь же часто, как и математические расчеты. Однако иногда высказывается мысль о том, что поскольку классическая механика целиком базируется на аксиомах кинематики и законах динамики Ньютона, давно и с высокой точностью подтвержденных практикой, то нет необходимости в процессе ее преподавания ставить учебный эксперимент и механику следует изучать как математическую дисциплину, а не как органическую часть физики.

Действительно, с научной точки зрения нет никакой необходимости пытаться «подтвердить» экспериментом уравнения кинематики и законы динамики, так как и те и другие — результат научного обобщения практики. Более того, единичный научный эксперимент вообще, а учебный в особенности по своей сути ничего в научном плане «подтвердить» не может. Но такой задачи перед учебным экспериментом и не ставится. Он нужен не для решения задач механики-науки, а для решения педагогических задач.

Учебный демонстрационный эксперимент необходим в следующих учебных ситуациях:

1. **Для демонстрации изучаемого явления.** Демонстрация делает изучаемое явление более ясным для учащихся, чем при словесном его описании. Пословица «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать» весьма хорошо передает особенности восприятия нами явлений. Например, приступая к изучению темы «Зависимость давления жидкости (и газа) от скорости ее течения», необходимо показать ламинарное и турбулентное течения. Учащиеся наверняка видели и спокойное (ламинарное) течение жидкости, и течение с завихрениями (турбулентное), но они не видели линий тока, введение которых чрезвычайно важно для последующего изложения материала. Демонстрация сравнительно простого опыта создаст необходимую предпосылку для введения этих важных понятий.

2. **Для создания экспериментальной опоры при введении нового для учащихся физического понятия.** Например, при введении понятия ускорения учащимся необходимо показать, что в случае неравномерного движения скорость изменяется. При изучении равнопеременного движения крайне важно показать, что в этом

случае изменение скорости за одинаковые промежутки времени одинаково. Опыт с тележкой, на которой установлена капельница, позволяет это сделать просто и наглядно (см. опыты 6, 9).

3. **Для иллюстрации справедливости результата, полученного при теоретическом рассмотрении явления.** Например, при изучении темы «Зависимость давления жидкости (и газа) от скорости ее течения» соотношение между статическим давлением и скоростью, с одной стороны, не очевидно, а с другой — сомнительно. Демонстрация опыта 43 снимает и то и другое сомнение.

4. **Для демонстрации технического использования изученных явлений в технике.** Политехнический принцип обучения обязывает доводить изучение физических явлений до их практического применения в технике. Демонстрация принципа работы технических применений не только расширяет политехнический кругозор учащихся, но, что не менее важно, делает знания учащихся более прочными, конкретными, а такие знания легко запоминаются. В качестве таких примеров в теме «Зависимость давления жидкости и газов от скорости их течения» могут быть рассмотрены устройство и принцип работы пульверизатора, газовой горелки, карбюратора, водоструйного насоса и, конечно, устройство и работа крыла самолета (опыты 43, 44, 45).

5. **Для формирования познавательного интереса учащихся.** Этой цели служат интересные, подчас занимательные опыты и экспериментальные парадоксы. Так, в теме «Зависимость давления жидкости (и газа) от скорости ее течения» могут быть показаны опыты 43, 44. Такие опыты оживляют урок, действуют не только на ум, но и на эмоции учащихся, пробуждают их интерес и способствуют лучшему пониманию и прочному запоминанию изученного материала. Особенно запоминаются необычные опыты при условии их хорошего (обязательно неторопливого) объяснения.

6. **Для ознакомления с экспериментальным методом изучения физических явлений.**

7. **Для постановки проблемы при проблемном изучении темы или явления.**

Перечень приведенных выше педагогических ситуаций, когда при изучении механики необходимы демонстрационные опыты, можно при желании значительно расширить, но и приведенных примеров достаточно, чтобы убедиться в том, что учебный эксперимент при изучении механики необходим.

Но посмотрим на эту проблему и с точки зрения механики-науки.

Прежде всего, механика является наукой о движении, а движение охватывает все происходящее во Вселенной, начиная от простого перемещения и кончая мышлением. По образному выражению академика А. Ю. Ишлинского, «механика — основа познания природы и база творений техники» [3]. Следовательно, механика изучает окружающий нас мир. В процессе изучения окружающего нас мира механика использует математику как

инструмент, как один из методов познания, но при этом не превращается в математику.

Далее, зарождение механики — это зарождение физики. На всем протяжении истории науки механика была, есть и будет в дальнейшем неотъемлемой частью физики, ее фундаментом. Поэтому не подлежит сомнению, что механику следует изучать не как раздел математики, а как часть единого курса физики.

§ 7. КИНЕМАТИКА

Опыты по кинематике предназначены для того, чтобы облегчить учащимся освоение основных кинематических понятий, связать эти понятия с реальными движениями. Кроме того, и это не менее важно, цель ряда опытов заключается в том, чтобы показать принципиальную возможность измерения основных кинематических величин.

Интерес, любознательность — одно из главных средств в руках учителя для пробуждения желания учиться. Наконец, следует иметь в виду, что демонстрация опытов пробуждает интерес учащихся и любознательность, что крайне важно в обучении.

Несмотря на кажущуюся простоту, опыты по кинематике хорошо удаются и приносят необходимый эффект только тогда, когда они тщательно подготовлены.

Многие из описанных опытов как будто для учащихся неинтересны, но это не так: будучи показаны в системе, они значительно облегчают усвоение учебного материала.

Опыт 1. Механическое движение

Цель опыта. Показать примеры механического движения; пробудить интерес у учащихся; предварительно ознакомить с явлениями, которые позже будут изучаться обстоятельно.

а) Скатывание шарика по наклонному желобу.

б) Движение шарика вверх по наклонному желобу.

в) Движение заводной игрушки.

г) Необычное движение легкой бумажной трубки (см. описание опыта 43).

Могут быть показаны и другие опыты. Опыт с цилиндром Магнуса, если его хорошо поставить, пробудит интерес учащихся. У них возникнет много вопросов. На эти вопросы надо четко ответить, что объяснение наблюдавшегося ими явления они узнают в конце учебного года.

Опыт 2. Прямолинейное и криволинейное движения. Траектория

Цель опыта. Облегчить учащимся понимание понятия «траектория», развить интерес к изучению механики.

Перечень опытов:

а) Прямолинейное движение тележки по демонстрационному столу.

б) Криволинейное движение тележки.

в) Показ быстрого движения горящей лампочки карманного фонаря (колпачок с линзой следует снять) при затемненной аудитории. В этом случае «видна» траектория движения лампочки.

г) Аналогичный опыт с лампочкой, укрепленной на ободе велосипедного колеса. (Вместо колеса можно взять любой большой диск, например диск от прибора «Диск вращающийся».)

Два последних опыта для учащихся наглядны, интересны и готовят их к последующему изложению материала.

Опыт 3. Относительность движения. Система отсчета

Цель опыта. Помочь учащимся в формировании представлений о системе отсчета и подготовить их к изучению вопроса об относительности движения.

Порядок проведения опыта.

а) Демонстрируется движение тележки с бруском по демонстрационному столу. Перед учащимися ставится вопрос: движется ли брусок? Дав учащимся обсудить поставленный вопрос и заслушав их ответы, делают вывод, что вопрос поставлен недостаточно четко: необходимо указать, относительно кого или чего надо определить движение.

б) Демонстрируется движение лампочки, укрепленной на ободе велосипедного колеса, ось которого неподвижно закреплена в штативе и на одной из спиц которого укреплена бумажная метка. Ставится вопрос: движется ли лампочка, укрепленная на ободе вращающегося колеса? Учащиеся, как правило, уточняют вопрос и указывают, что относительно обода и спиц лампочка не движется, а относительно аудитории движется.

в) После обсуждения опыта вводится понятие о системе отсчета как о совокупности тела отсчета, системы координат и часов.

Совет. Понятия «тела отсчета», «трехмерная система координат», «система отсчета» хорошо раскрыты в фрагменте «Что такое система отсчета» кинофильма «Система отсчета». В нем на конкретных примерах движения судов, поездов, автомобилей и трактора показана относительность движения и покоя. Затем на примере вагона и предметов, находящихся в нем, вводится понятие «тело отсчета», на примере движения самолета показывается изменение трех его координат относительно стога сена на земле. Далее дано определение системы отсчета, показана относительность траектории движения груза, падающего с самолета, и ее независимость от направления осей координат. В заключение показана равнозначность с кинематической точки зрения систем Птолемея и Коперника.

Опыт 4. Относительность перемещения и траектории

Цель опыта. Показать, что траектория, перемещение и скорости зависят от системы отсчета.

Вариант А. В гнездо верхней платформы самодвижущейся тележки устанавливают стальной стержень. Надевают кольцевой

керамический магнит на стержень и отпускают (рис. 11). Он падает довольно длительное время за счет вращения вокруг стержня. Траекторию движения магнита можно принять за прямую. Затем приводят в движение тележку и снова отпускают магнит. Опыт свидетельствует, что траектория и перемещение магнита относительно тележки и относительно стола различны.

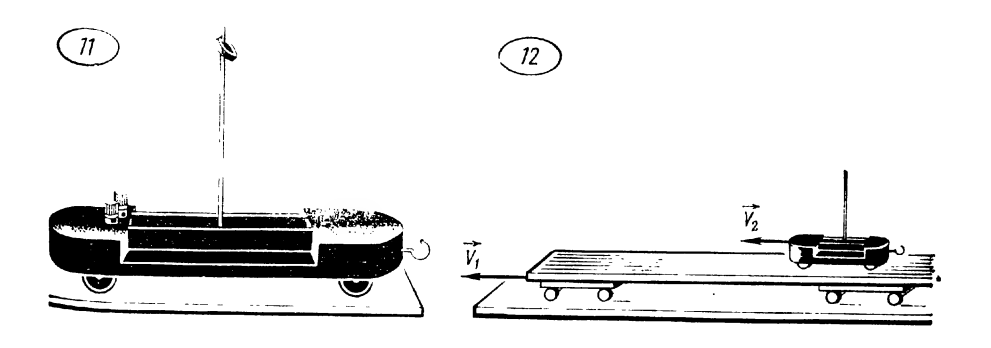
Вариант Б. На подвижной платформе, образованной с помощью двух легкоподвижных тележек и листа фанеры, размещают самодвижущуюся тележку (рис. 12). Находят перемещение верхней тележки относительно стола. Далее приводят в равномерное движение одновременно платформу и тележку, вначале в одинаковых, а затем в противоположных направлениях, и каждый раз находят перемещение самодвижущейся тележки относительно стола и относительно платформы.

Изучение таблиц «Относительность движения»

На первой таблице рассматривается движение пассажиров в салоне трамвая относительно вагона и Земли, когда перемещения параллельны и происходят в одном направлении. В каждом из этих случаев с соответствующим телом отсчета связаны координатные оси: с неподвижным — оси XY с подвижным $X'Y'$. Координатные оси отличаются не только индексами, но и цветом. Цветом осей координатной системы изображены также люди, векторы перемещений и скоростей, с тем чтобы зрительно они лучше связывались с соответствующей координатной системой.

На второй — плот, равномерно плывущий по течению реки. По плоту перпендикулярно его движению равномерно перемещается человек, движение которого рассматривается относительно подвижной и неподвижной координатных систем. Подвижная координатная система $X'Y'$ связана с плотом, а неподвижная XY — с берегом.

Траектория движения человека относительно плота и Земли отмечена соответственно красной и черной линиями. В данном случае траектория и перемещения в каждой координатной системе совпадают, но они в разных координатных системах различные.



Демонстрация кинофильма

В кинофрагменте «Сложение перемещений» показана переправа катера с гребным винтом с одного берега на другой. Далее показано перемещение катера относительно плота и плота относительно берега, сформулировано правило сложения векторов перемещения. В заключение фрагмента приведены аналогичные построения по сложению векторов перемещения, когда катер возвращается обратно.

Опыт 5. Поступательное движение

Цель опыта. Привести примеры поступательного движения тел и тем самым закрепить это важное понятие механики.

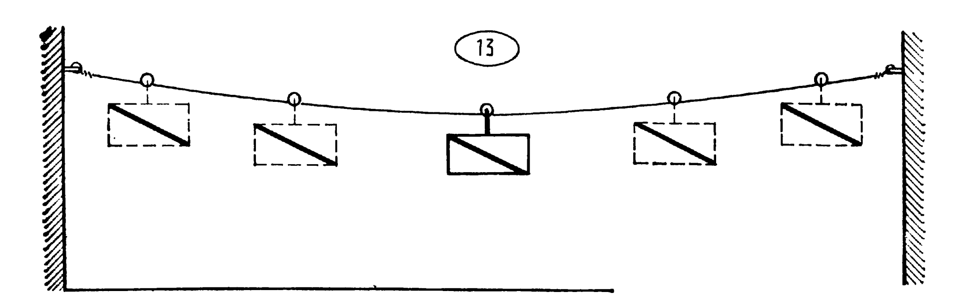
а) После того как на обыденном примере (с чемоданом, книгой и т. д.) введено понятие поступательного движения, на модели канатной дороги демонстрируют поступательное движение вагонетки, на боковой стенке которой проведены прямые линии (рис. 13). Трос для модели канатной дороги надо протянуть между стенами аудитории так, чтобы он проходил над демонстрационным столом на высоте примерно 50 см. В боковых стенах аудитории надо укрепить прочные крюки. Под модель вагонетки можно приспособить малый ящик-подставку. Для этого посредине его узкой грани надо просверлить отверстие для крепления малого блока. Сквозь боковые стенки следует просверлить 3—4 отверстия, расположенные друг против друга. Эти отверстия нужны для того, чтобы сквозь них продевать ось планки, моделирующей «прямую, проходящую через любые две точки тела». Обращают внимание учащихся на то, что прямые, соединяющие две любые точки вагонетки, при ее движении остаются параллельными сами себе.

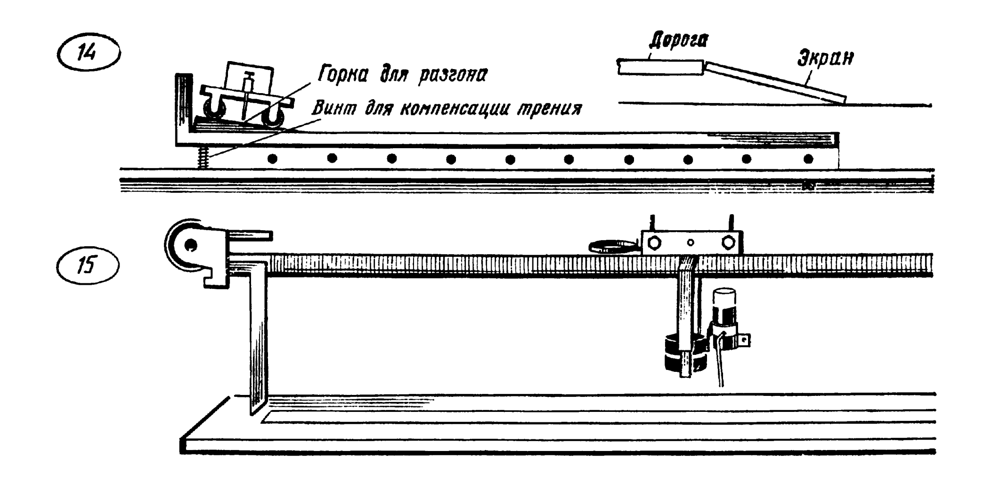
б) Опыт повторяют с моделью колеса обозрения.

Опыт 6. Прямолинейное равномерное движение

Цель опыта. Познакомить учащихся с одним из способов измерения времени в демонстрационных опытах. Показать, что при равномерном движении тело в любые равные промежутки времени перемещается на равные расстояния.

Устанавливают капельницу в штативе. Сзади капельницы по-





мещают белый экран. Налив в капельницу подкрашенную воду, поворачивают трубку на небольшой угол, замечают время и отсчитывают 21 каплю. Определяют промежуток времени от 1-й до 21-й капли. По данным опыта определяют промежуток времени между двумя последующими каплями, для этого промежуток времени между падением 1-й и 21-й капель делят на 20 (на число промежутков). Долив капельницу, повторяют опыт с одиннадцатью каплями, а затем с шестью. Результаты опыта свидетельствуют, что капли падают через равные промежутки времени.

Вариант А. На легкоподвижную тележку устанавливают капельницу, наполненную чернилами, в которых растворен стиральный порошок или мыло. Тележка спускается по направляющей колее, наклон которой подбирается так, чтобы тележка двигалась равномерно. Капельница ставится таким образом, что капли падают на экран из матового стекла или на покрытый бумагой наклонный экран и стекают, образуя заметные полосы.

Общий вид установки показан на рисунке 14.

Опыт повторяют с другой капельницей, частота падения капель из которой больше.

Вариант Б. Опыт ставят с легкоподвижной тележкой из прибора по кинематике и динамике для практикума, которую нагружают капельницей. Вдоль штанги прибора на столе размещают полоску (размер 1000×70 мм) матового оргстекла или бумажную ленту (рис. 15). Штанге прибора придают такой наклон, чтобы тележка двигалась равномерно по всей длине струны. Открывают капельницу и легким толчком тележку приводят в равномерное прямолинейное движение. После остановки тележки капельницу закрывают. Снимают полоску оргстекла или ленту с каплями и показывают учащимся. С помощью демонстрационного метра измеряют расстояния между соседними каплями. Результаты измерений записывают на доске, сравнивают и убеждаются в их равенстве, т. е. равномерности движения тележки.

Опыт 7[1]. Скорость равномерного движения

Цель опыта. Конкретизировать представления учащихся о скорости равномерного движения. Познакомить учащихся со способами измерения скорости.

Вариант А. Собирают установку, изображенную на рисунке 15. Повторяют опыт 6. Измеряют расстояние между двумя ближними каплями Δs. По секундомеру измеряют время падения 10 капель и определяют среднее время между падением двух последующих капель Δt.

По полученным данным Δs и Δt определяется скорость движения тележки на участке Δs.

Вариант Б. На левом конце монорельса прибора ПДЗМ, установленного горизонтально, располагают пусковой электромагнит (рис. 16). Обмотку электромагнита через демонстрационный ключ присоединяют к источнику тока напряжения 5 В постоянного тока с помощью проводов, входящих в комплект прибора ПДЗМ.

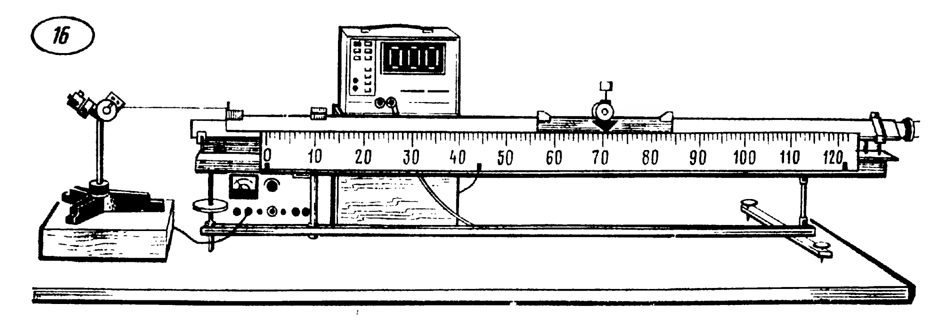
Позади прибора ПДЗМ на специальной подставке устанавливают счетчик-секундомер так, чтобы его индикатор был хорошо виден учащимся. С помощью кнопки «Сброс» устанавливают счетчик-секундомер на нуль.

Ставится задача: определить промежуток времени, соответствующий перемещению каретки по монорельсу от точки с координатой 30 см до точки с координатой 110 см. На торцах малой каретки прикрепляют железные сердечники с пружинами. Замыкают ключом электрическую цепь левого пускового электромагнита и прижимают к его сердечнику железный сердечник каретки. Пусковой электромагнит удерживает каретку и противодействует силе упругости сжатой пружины.

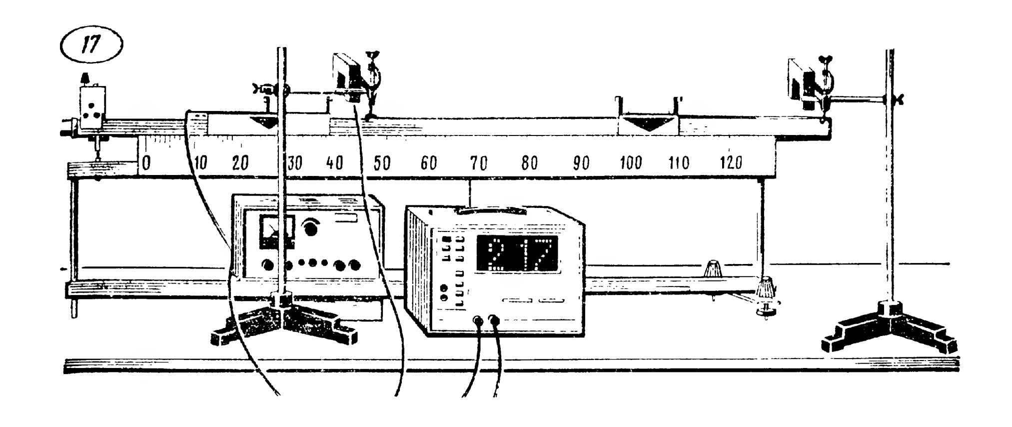
Линейку устанавливают так, чтобы метка на каретке была расположена у нулевого деления ее шкалы. Метка имеет форму треугольника, одна вершина которого обращена вниз.

Размыкают электрическую цепь. Каретка освобождается и под действием силы упругости пружины приходит в движение. При прохождении каретки через точку с координатой 30 см се-

16

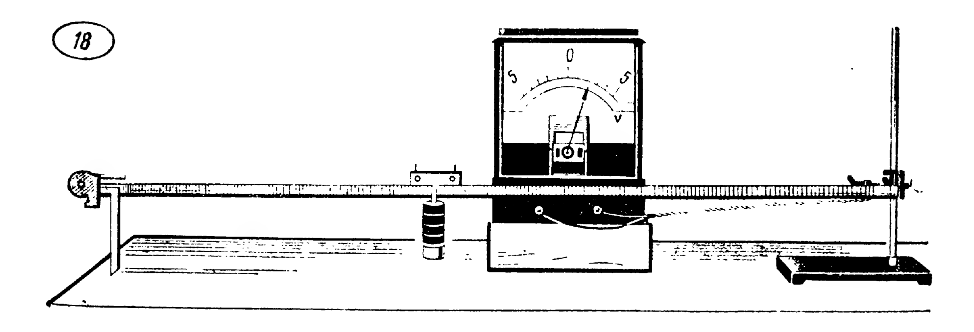


[1] В опытах 7—18 варианты с ПДЗМ написаны Л. В. Кудрявцевым.



кундомер запускают вручную с помощью кнопки «Пуск», а останавливают секундомер с помощью кнопки «Стоп» при прохождении через точку с координатой 110 см. Искомый промежуток времени определяют по индикатору секундомера. Измерения повторяют 2—3 раза и результаты сопоставляют между собой. Хотя условия опыта были одни и те же, результаты измерения времени оказываются разными. Это вызвано тем, что вручную трудно запустить и остановить секундомер точно в момент прохождения каретки через заданные точки (30 см и 110 см). Найдя среднее время двух или трех измерений, определяют скорость движения на участке 30 см — 110 см.

Вариант В. Если в кабинете есть фотодатчики, выпускаемые промышленностью, около монорельса на отметках 30 см и 110 см ставят штативы с фотодатчиками (рис. 17). На каретке закрепляют флажок. Индикатор секундомера устанавливают на нуль, а затем запускают каретку, размыкая ключ в цепи пускового электромагнита. При пересечении флажком луча света в левом фотодатчике секундомер начинает отсчет времени, а при пересечении луча света в правом фотодатчике отсчет времени прекращается и на индикаторе секундомера высвечивается искомый промежуток времени, измеренный с точностью до 0,01 с. По по-



3 Заказ 1584

лученным данным определить скорость каретки. Обсудить результат опыта.

Вариант Г. Тележку прибора по механике нагружают стопкой кольцевых керамических магнитов, предварительно надетых на стойку пластмассы. К концам витков обмотки проволоки на штанге подключают гальванометр от вольтметра (рис. 18). При движении тележки стрелка гальванометра устанавливается на определенном делении и тем самым фиксирует постоянство скорости равномерного движения. В данном опыте гальванометр работает в качестве спидометра.

Опыт 8. Прямолинейное равноускоренное движение

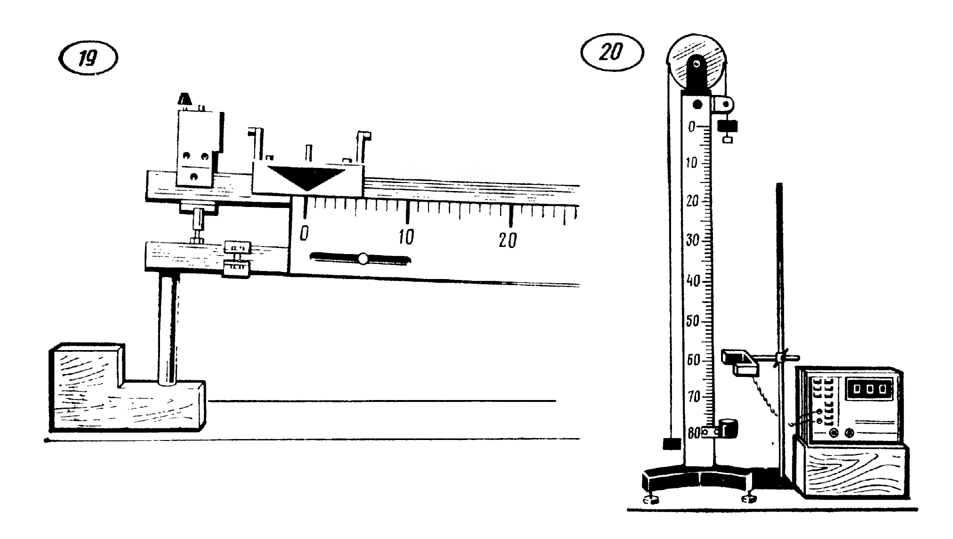
Цель опыта. Помочь учащимся увидеть основные закономерности равноускоренного движения на опыте и тем самым создать экспериментальный базис для изучения этого вида движения.

Вариант А. На легкоподвижной тележке прибора по механике для практикума закрепляют капельницу, а вдоль штанги прибора под капельницу укладывают матовую полоску оргстекла (см. рис. 14). Штанге придают небольшой наклон, открывают капельницу и отпускают тележку. Наблюдают за движением тележки. По расстояниям между каплями фиксируют увеличение скорости движения тележки. Измерения расстояния между соседними каплями показывают, что тележка за равные промежутки времени совершает разные перемещения. При этом скорость движения изменяется одинаково. Данные измерения заносят в таблицу и строят график зависимости скорости от времени. Если составить отношение путей, проходимых за последовательные равные промежутки времени, то нетрудно обнаружить, что они относятся как последовательный ряд нечетных чисел.

Опыт следует повторить в варианте, когда тележка после толчка движется вверх по струне. В этом случае учащиеся визуально обнаруживают уменьшение скорости тележки, а по каплям на пластинке находят это уменьшение за последовательные равные промежутки времени. Снова производят измерения и на тех же осях строят график зависимости скорости от времени.

Вариант Б. Присоединяют к обмотке прибора по механике для практикума гальванометр демонстрационного вольтметра. Нагрузив тележку стопкой керамических магнитов, штанге прибора придают наклон. Тележка скатывается по струне, а гальванометр (спидометр) фиксирует непрерывное увеличение скорости. Если толкнуть тележку вверх по струне, то спидометр покажет непрерывное уменьшение скорости до нулевого значения.

Вариант В. Монорельсу прибора для демонстрации законов механики ПДЗМ с помощью специальной подставки (ступенчатая деревянная подставка входит в комплект прибора) придают наклон. Каретку оснащают пружиной с буфером и соединяют его с включенным электромагнитом (рис. 19). Выключают выпрямитель, и каретка в результате взаимодействия с пружиной движется вверх по наклонной плоскости с уменьшающейся скоростью.



Затем она движется вниз по наклонной плоскости с увеличивающейся скоростью. Благодаря плоской пружине можно наблюдать многократное равнопеременное движение каретки по наклонному монорельсу.

Вариант Г. Собирают машину Атвуда (рис. 20), на правый груз кладут перегрузок 2 г. Выводят правый груз на начало шкалы, отпускают систему грузов и наблюдают за ускоренным ее движением.

Опыт повторяют с перегрузком 4 г и находят, что та же система грузов движется с большим ускорением.

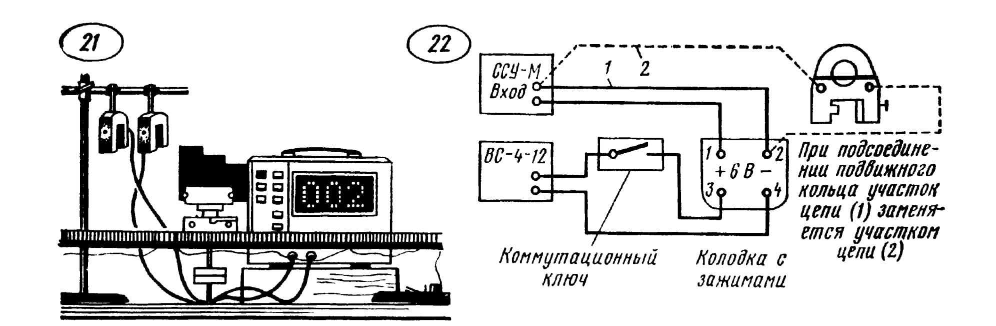
Опыт 9. Мгновенная скорость

Цель опыта. Познакомить учащихся со способом измерения мгновенной скорости движения тела в заданной точке траектории.

Вариант А. Монорельс прибора ПДЗМ устанавливают под углом к горизонту с помощью ступенчатой подставки, входящей в комплект прибора. Фотодатчики закрепляют на универсальном штативе так, чтобы расстояние между ними было равно 10 см. Устанавливают штатив с фотодатчиками так, чтобы середина отрезка между фотодатчиками располагалась около точки на монорельсе, при прохождении которой требуется найти мгновенную скорость движения каретки (см. рис. 19).

Запускают каретку с помощью левого пускового электромагнита и измеряют по индикатору секундомера промежуток времени, в течение которого пройден отрезок пути длиной 10 см. Численное значение мгновенной скорости каретки в заданной точке определяют по формуле

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t};$$



При анализе опыта следует рассмотреть вопрос о точности измерения мгновенной скорости. Отрезок пути длиной 10 см измерен при установке фотодатчиков с погрешностью, не превышающей 1 мм, погрешность измерения промежутка времени не превышает 0,01 с. Если, например, промежуток времени $\Delta t = 0{,}32$ с, то относительная погрешность измерения времени равна примерно 3%, а отрезка пути — 1%. Следовательно, уменьшение расстояния между фотодатчиками до 5 см нецелесообразно, так как ошибка измерения возрастет при этом до 8%. Результат измерения мгновенной скорости не приблизится, а удалится от истинного значения мгновенной скорости движения тела в заданной точке.

Вариант Б. На легкоподвижную тележку прибора по механике для практикума с помощью керамического магнита устанавливают ступенчатый экран или экраны шириной 15, 10, 5 см, а над ними — фотодатчики, соединенные со счетчиком-секундомером ССУ-М (рис. 21). Штанге прибора по механике обеспечивают такой наклон, чтобы тележка двигалась равноускоренно. Фотодатчики ССУ-М обеспечивают автоматическое включение и выключение секундомера. Зная ширину экрана (Δs) и показания секундомера (Δt), определяют каждый раз среднюю скорость движения тележки на участке, ограниченном фотодатчиками. Последовательно заменяют экраны (ширина их уменьшается), определяют значения $v_{ср}$ для каждого опыта и таким образом вводят понятие мгновенной скорости.

Делают вывод, что значение средней скорости для участка (экрана) 5 см будет близко к мгновенной скорости тележки в точке, которая расположена между фотодатчиками.

Вариант В. Машину Атвуда устанавливают на демонстрационном столе так, чтобы стойка находилась строго в вертикальном положении. Зажимы *1* и *2* распределительной колодки соединяют с зажимами ССУ-М, а зажимы *3* и *4* — через выключатель с выпрямителем ВС-4-12 (рис. 22). Правый груз с установленным на нем перегрузком (4 г) нижней кромкой устанавливают у нулевого деления шкалы, на отметке 20 см — подвижное кольцо, на отметке 80 см — приемный столик. Замыкают ключ, и пускатель фиксирует нить. После размыкания ключа пра-

вый груз начинает движение, проходит кольцо, и перегрузок замыкает цепь питания секундомера. При достижении правым грузом площадки приемного столика секундомер выключается. После снятия перегрузка система грузов двигалась равномерно. Зная расстояние (60 см) и время (показания секундомера), определяют мгновенную скорость груза в момент снятия перегрузка.

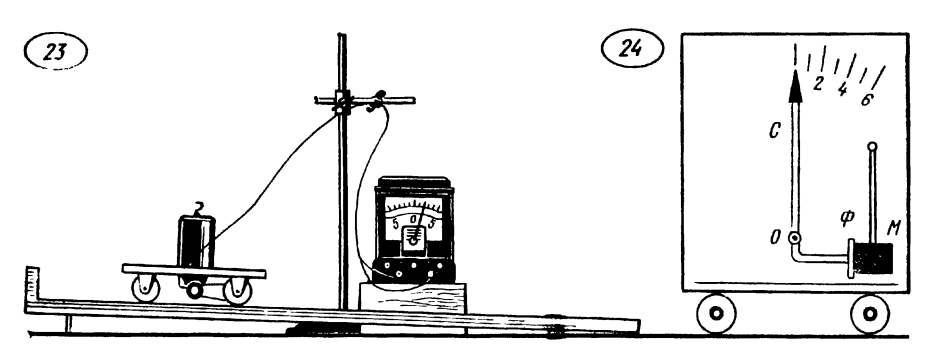
Вариант Г. Присоединяют к обмотке штанги прибора гальванометр от демонстрационного вольтметра. Штанге придают уклон, тележку нагружают магнитами. Тележку вводят в крайнее правое положение, затем освобождают от крючка и наблюдают во время движения тележки за показаниями гальванометра (спидометра). Спидометр показывает, что скорость непрерывно возрастает. Этот вариант отличается от двух предыдущих тем, что прибор сразу и непрерывно показывает значение мгновенной скорости в каждой точке траектории.

Вариант Д. На легкоподвижную тележку устанавливают микродвигатель «Малыш». Ось двигателя через резиновое колесико соприкасается с «дорогой». Выводы от двигателя через гибкие проводники (рис. 23) соединяют через любой полупроводниковый диод с гальванометром. При скатывании тележки гальванометр фиксирует непрерывное изменение скорости.

Опыт 10. Измерение ускорения. Акселерометр

Цель опыта. Познакомить учащихся с принципом измерения ускорения и с принципом устройства акселерометра.

Вариант А. С помощью рисунка на классной доске объясняют, что в любом типе приборов для измерения ускорения есть датчик ускорения и устройство для фиксации ускорения. Наиболее простым акселерометром является акселерометр, изображенный на рисунке 24. (Описание этого акселерометра приведено на с. 229.) Массивный маятник *М* при его отклонении (которое пропорционально ускорению движения тележки, так как действующая на маятник в горизонтальном направлении сила $f = ma$) давит на фиксатор *Ф*, поворачивающий стрелку *С*, насаженную на ось *О*, с трением, которое не позволяет стрелке вернуться в нулевое положение.



После этого объяснения демонстрируют равноускоренное движение тележки, на которой установлен акселерометр, вниз по наклонной плоскости.

Опыт 11. Падение тел в воздухе и разреженном пространстве

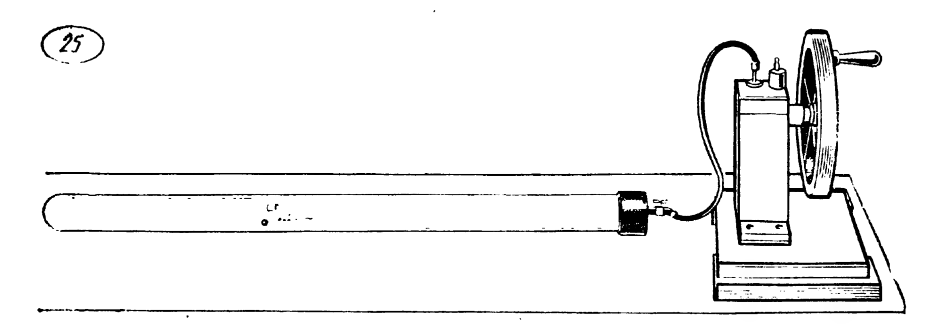
Цель опыта. Экспериментально доказать, что в отсутствие сопротивления воздуха все тела независимо от их массы падают с одинаковым ускорением.

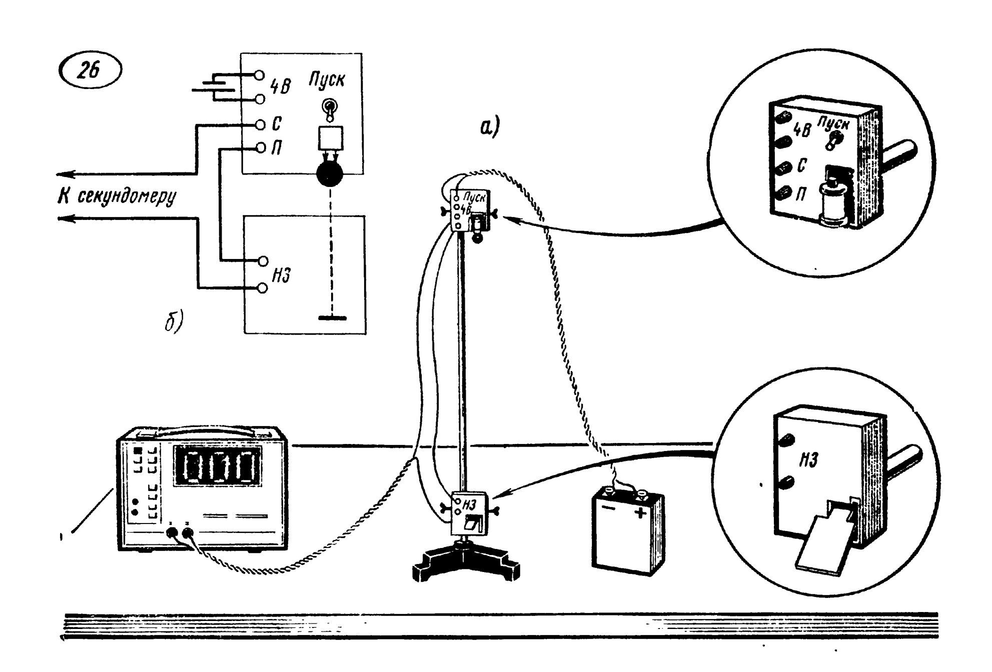
Вариант А. Берут в одну руку металлический диск, а в другую — бумажный такого же диаметра и одновременно их отпускают. После того как металлический диск коснется стола, бумажный еще продолжает падать и достигает стола с большим опозданием. Затем на металлический диск накладывают бумажный. Отпускают диски — они, сохраняя горизонтальное положение, падают вместе на стол. Эти опыты показывают, что причиной неодновременности падения тел является сопротивление воздуха. Достаточно его устранить, и легкий бумажный диск падает так же, как и металлический, для которого сопротивление воздуха мало по сравнению с силой тяжести. Металлический диск для опыта берут от прибора по механике для практикума.

Вариант Б. У трубки Ньютона открывают кран и, держа ее в вертикальном положении краном вверх, обращают внимание учащихся на птичье перышко, пробку и кусочек свинца, лежащие на дне прибора. При быстром перевертывании трубки краном вниз (это надо сделать 2—3 раза) слышен удар свинцового грузика, затем видно, как падает пробка и медленно опускается перышко.

Далее соединяют трубку шлангом через демонстрационный манометр с насосом Комовского и откачивают воздух. Когда стрелка манометра установится на нуле, кран трубки Ньютона закрывают (рис. 25).

Сняв резиновый шланг, снова перевертывают трубку 2—3 раза. Учащиеся слышат стук кусочка свинца и наблюдают одновременное с ним падение перышка и пробки. Чтобы лучше были видны тела, заключенные в трубке, надо проводить опыт по возможности ближе к учащимся и на темном фоне.





Вариант В. Два шарика одинакового размера, но разной массы захватывают в одну руку и одновременно отпускают. Шарики падают, и удары их об пол слышны одновременно. Аналогичный пример проводил Галилей, бросая шары с наклонной башни. Опыт этот показывает, что, если сопротивление воздуха невелико по сравнению с массой тела, независимо от их массы тела падают с одним и тем же ускорением.

Опыт 12. Ускорение свободного падения

Цель опыта. Познакомить учащихся с одним из способов определения ускорения свободного падения.

Вариант А. На стержне универсального штатива закрепляют вверху приставку с электромагнитом, у основания — приставку НЗ (рис. 26). Обе приставки размещают так, чтобы расстояние между горизонтальным столиком приставки НЗ и центром шарика, удерживаемым электромагнитом верхней приставки, было равно 1 м. Зажимы приставок соединяют между собой, с зажимами секундомера ССУ-М и выпрямителя ВС-4-12, подают питание на электромагнит. Переключатель рода работ у ССУ-М переводят в положение «Секундомер». После настройки установки сбрасывают показания секундомера, поднимают столик нижней приставки, переключают тумблер «Пуск» верхней приставки. При этом шарик отрывается и, ударяясь о столик, разрывает цепь. Снимают показания секундомера. Опыт повторяют трижды и каждый раз записывают показания секундомера, затем находят

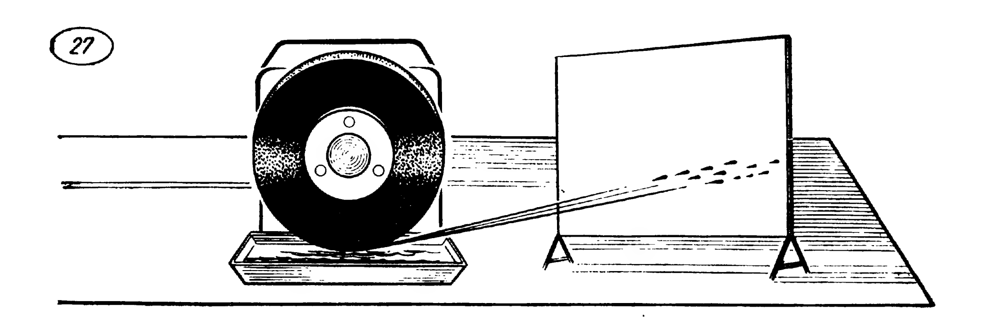
среднее арифметическое значение времени и определяют по известной формуле ускорение свободного падения.

Вариант Б. Электромагнитный пускатель устанавливают с правой стороны шкалы машины Атвуда. Приемный столик закрепляют на шкале против отметки 80 см. После того как к электромагнитному пускателю будет подведено напряжение и якорь притянется к сердечнику, на конец иглы якоря устанавливают стальной шарик. К зажимам колодки присоединяют счетчик-секундомер ССУ-М.

В момент отключения пускателя включается секундомер и шарик отрывается от иглы. При попадании шарика на приемный столик его чашка опустится вниз и разомкнет цепь управления секундомера. Опыт повторяют 2—3 раза, находят среднее значение времени падения и по известной формуле определяют ускорение свободного падения.

Вариант В. Опыт ставится со счетчиком-секундомером и машиной Атвуда. Зажимы *3—4* (см. рис. 22) колодки машины соединяют с гнездом ЭМ (электромагнита) секундомера. На штативе закрепляют фотоэлектрический датчик, который устанавливают на заранее выбранной высоте так, чтобы шарик при своем падении пересек луч света.

ССУ-М включают в сеть и устанавливают режим секундомера, т. е. управляющие клавиши находятся в отжатом положении. В это время на электромагнитный пускатель подается напряжение, на иглу подвешивают шарик. Устанавливают стрелку секундомера на нулевое деление, нажимают клавишу «Пуск». В этот момент одновременно происходит запуск секундомера и отрыв шарика. При падении шарик пересекает луч света фотодатчика, включенного в разъем Д2, и секундомер прекращает отсчет времени. Как и в предыдущих вариантах, опыт повторяют до 2—3 раз, находят среднее значение времени падения и вычисляют ускорение свободного падения.



Опыт 13. Равномерное движение по окружности. Линейная скорость

Цель опыта. Экспериментально доказать, что вектор линейной скорости при равномерном движении тела по окружности направлен по касательной к окружности.

Вариант А. Вращающийся диск с помощью штатива закрепляют в вертикальной плоскости (рис. 27). Муфту штатива опускают так, чтобы диск касался поверхности подкрашенной воды в кювете. Справа от диска располагают экран, покрытый белой пористой бумагой. Плоскость экрана должна быть расположена под небольшим углом к плоскости диска. Диск приводят во вращение и следят за отлетающими каплями (на них желательно направить пучок света диапроектора). Учитель обращает внимание учащихся на то, что капли срываются и летят по касательной к окружности, т. е. движение капель показывает направление их мгновенной скорости в момент отрыва от диска.

Вариант Б. Аналогичного рода опыты ставят с ручным или электрическим точилом. В качестве обрабатываемого тела берут часть ножовочного полотна от слесарной пилы.

§ 8. ДИНАМИКА

Динамика — центральная тема курса механики. Вводимые в этой теме понятия и изучаемые законы пронизывают все последующие разделы курса физики и всего естествознания.

Содержание всякого закона только тогда становится ясным, когда точно определены величины, в него входящие, и указаны способы их измерения. С этой стороны второй закон Ньютона для преподавания представляет известные трудности, так как из трех входящих в него величин учащиеся хорошо знают лишь одну — ускорение. Две другие величины — силу и массу — учителю надо ввести «на ближних подступах к закону».

Положение усугубляется тем, что невозможно логически строго ввести понятие массы, не используя второго или третьего закона. Ньютон избежал этой трудности в «Математических началах натуральной философии», определив массу через плотность и объем: «Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее» [6]. При этом надо добавить, что из последующего текста «Начал» вытекает, что под плотностью он понимал число частиц в единице объема [8].

В настоящее время этот подход к определению массы неприемлем. Так неизбежно возникнет вопрос: а что же такое масса частицы? Поскольку процесс формирования любого понятия — процесс длительный, первоначальное понятие о массе тел нам представляется возможным ввести из опыта по взаимодействию тел, используя (в неявном виде) закон сохранения импульса и повседневный опыт учащихся. При подобном подходе будет не

так очевиден логический круг, как он очевиден в случае введения понятия массы через отношение ускорений. При этом еще раз подчеркнем, что речь идет о введении первоначальных представлений о массе и о способе сравнения массы тел с массой эталонного тела (эталона).

Введение понятия силы и ознакомление учащихся со способами измерения сил больших трудностей не вызывают, так как это понятие уже знакомо им из курса физики VII класса (измерение сил, динамометр) и, что особенно важно, из повседневной жизни. Однако при этом следует иметь в виду, что известное «методическое разночтение» вызывает вопрос о сложении сил. Если доказано, что сила — величина векторная, то совершенно очевидно, что сложение сил проводится по правилу сложения векторов — геометрически и доказывать ничего не надо.

Иное положение складывается в том случае, когда векторный характер силы надо доказать. И наконец, последнее.

Законы динамики — гениальное теоретическое обобщение человеческой практики. Их нельзя показать на опыте (как это иногда рекомендуется в методических работах) и тем более подтвердить или проверить в ходе работ практикума.

Назначение описанных ниже опытов иное, а именно:

— помочь учащимся понять основы динамики;

— показать проявление законов динамики в демонстрируемых опытах.

Порядок демонстрации опытов будет зависеть от принятой учителем методики изложения материала.

Опыт 14. Примеры механического взаимодействия тел

Цель опыта. Привести примеры механического взаимодействия тел и на их базе разъяснить термин «взаимодействие» и высказывание Ф. Энгельса о том, что «*взаимодействие* — вот первое, что выступает перед нами, когда мы рассматриваем движущуюся материю...» [1]. Подобный подход обеспечит педагогически и логически оправданный переход от кинематики к динамике.

Целесообразно рассмотреть статические (деформация) и динамические (ускорение) результаты механического взаимодействия и не рассматривать переходные процессы на микроуровне, так как это:

а) не является задачей динамики;

б) не необходимо для последующего изложения;

в) с большим трудом воспринимается учащимися.

Вариант А. К пружине от прибора для демонстрации опыта, иллюстрирующего проявление закона Архимеда, укрепленной на штативе, подвешивают груз (рис. 28). Обращают внимание учащихся, что в результате взаимодействия груза и пружины пружина деформируется.

Вариант Б. Надувая детский воздушный шарик, демонстрируют, что в результате взаимодействия вдуваемого в шарик воздуха оболочка шарика деформируется.

Вариант В. Ударяя по падающему воздушному шарику торцом незаточенного карандаша (или любым другим стержнем), демонстрируют, что при взаимодействии шарика с карандашом одновременно возникает деформация шарика и появляется ускорение.

Вариант Г. Рекомендуют учащимся рассмотреть кадры диапозитивов, на которых засняты моменты взаимодействия теннисного мяча с ракеткой.

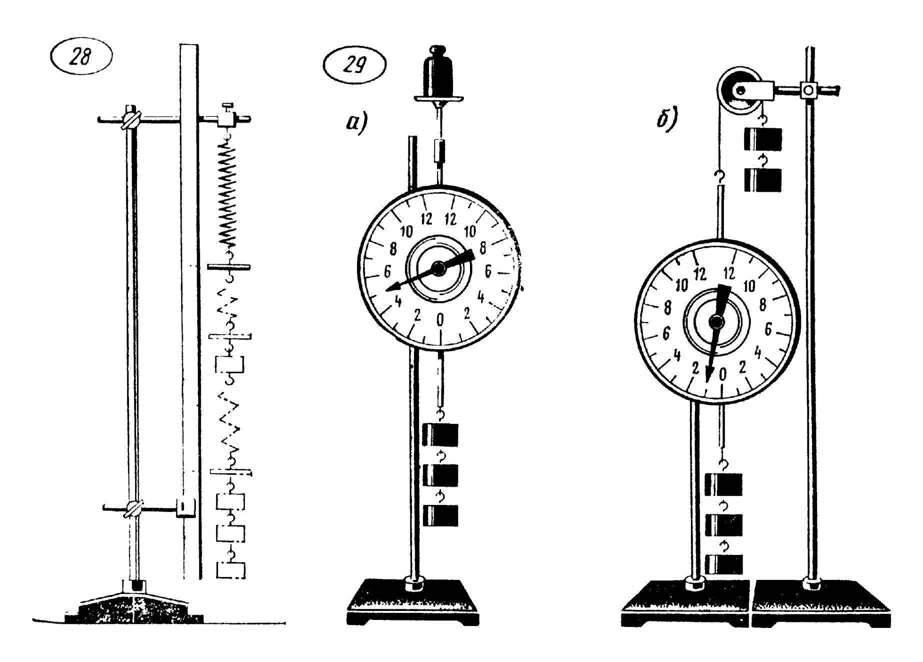
Опыт 15. Сила. Измерение силы

Цель опыта. Опираясь на знания учащихся, полученные при изучении физики в VII классе, повторить и углубить их представления о силе и способах ее измерения.

Один конец пружины от ведерка Архимеда закрепляют в лапке штатива, вдоль пружины ставят демонстрационный метр, на свободный конец пружины подвешивают груз массой 100 г из демонстрационного комплекта грузов. Последовательно увеличивают нагрузку на пружину и измеряют ее удлинение. Данные измерений заносят в таблицу:

F, Н	
X, м	

и строят график зависимости удлинения пружины от нагрузки. Снимая постепенно грузы, обнаруживают, что пропорционально уменьшается и удлинение пружины. После полностью снятой на-



грузки пружина приобретает прежнюю длину. Опираясь на результаты опыта, сообщают, что аналогичные результаты получаются при упругих деформациях любых тел. Это дало основание Р. Гуку для обобщения, которое вошло в науку под названием закона Гука. Следует еще раз подчеркнуть, что закон Гука справедлив только для упругих деформаций. Далее следует рассказать, что явление упругой деформации использовано в устройстве динамометров. Показывают демонстрационные динамометры с круглой шкалой и трубчатые, а также лабораторный динамометр. Для каждого из них указывают пределы измерения и находят цену деления шкалы прибора.

С помощью трубчатого динамометра, рассчитанного на 2,5 Н, полезно измерить силу упругости пружины каретки от прибора для демонстрации законов механики. При деформации пружины, когда буфер каретки прикасается к сердечнику электромагнита, сила упругости равна 0,25 Н.

Опыт 16. Сложение сил

Цель опыта. Показать, что силы складываются геометрически, и тем самым доказать, что сила — величина векторная, что подразумевалось в предыдущем опыте.

1. Демонстрационный динамометр закрепляют в штативе и, подвешивая к нему грузы из демонстрационного набора грузов, показывают, что равнодействующая сил, действующих по одной прямой в одну сторону, равна их сумме.

2. Собирают установку, изображенную на рисунке 29, и, меняя произвольно силы, действующие на динамометр, демонстрируют, что равнодействующая сил, действующих по одной прямой в противоположные стороны, равна их алгебраической сумме.

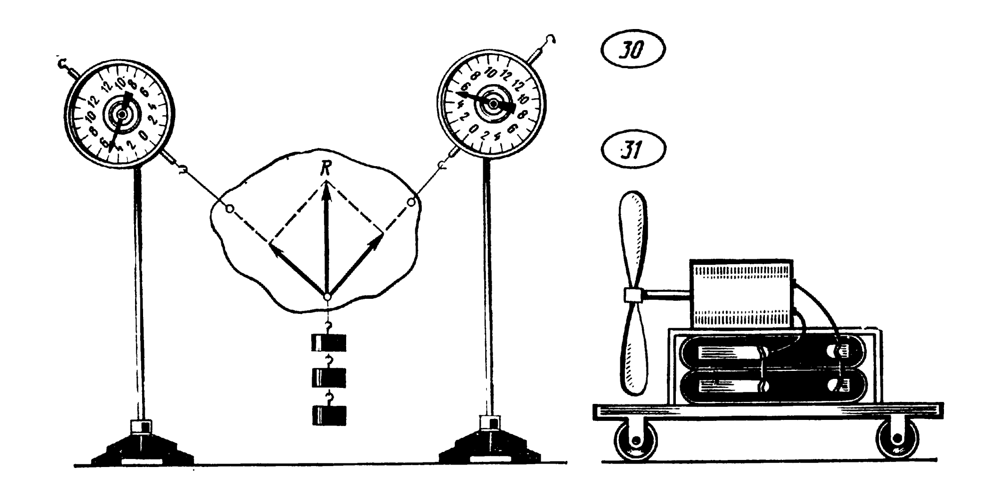
3. Собирают установку, изображенную на рисунке 30. Вставив крючок от демонстрационного груза в одну из петель, сделанных на нити, соединяющей динамометры, поворачивают динамометры так, чтобы их стержни совпали с направлением нитей. Измерив угол, образованный нитями, чертят на классной доске векторы действующих сил и уравновешивающую их силу.

Начертив равнодействующую сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (равную, но противоположную силе $\vec{F}$), соединяют концы векторов всех трех сил. Получившаяся фигура по внешнему виду — параллелограмм. Анализируя проделанное, делают вывод: сила — величина векторная, действующие на тело силы складываются геометрически (по правилу сложения векторов).

Опыт 17. Масса тел

Цель опыта. Ввести первоначальное понятие о массе как мере инертности тел.

Вариант А. Поставив легкоподвижную тележку с установленным на ней двигателем, на оси которого укреплен воздушный винт (рис. 31), задают учащимся вопрос: как долго тележка бу-



дет стоять неподвижно? Обсудив возможные ответы и сопоставив их с повседневными наблюдениями, делают вывод о том, что любое тело сохраняет свое первоначальное состояние относительного покоя до тех пор, пока на него не подействует другое тело.

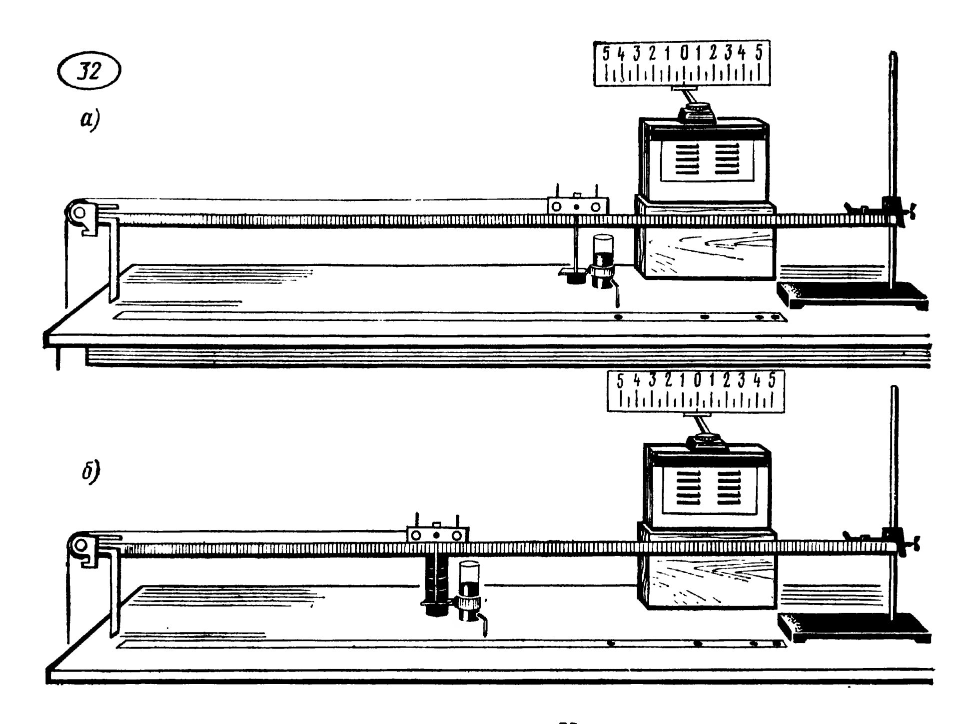
Включив двигатель, наблюдают, как изменяется скорость движения тележки. Обсудив увиденное, делают вывод, что в результате взаимодействия тележки с воздухом скорость движения тележки изменяется постепенно.

Изменив массу тележки дополнительным грузом, повторяют опыт. Замечают, что в этом случае скорость движения тележки изменяется медленнее. Делают вывод, что под действием одной и той же силы скорость движения тел изменяется по-разному. Обобщая результаты опытов, следует ввести понятия инертности тел и массы как меры инертности.

Вариант Б. При подготовке к опыту устанавливают монорельс горизонтально. Для этого ставят каретку посередине монорельса и включают воздуходувку. Если каретка скользит вправо, то левый опорный винт вращают против часовой стрелки; если влево, то по часовой стрелке. Сохранение кареткой состояния покоя при включении воздуходувки является признаком горизонтальности монорельса.

В начале опыта слегка прикасаются к каретке узкой бумажной полоской. Каретка выходит при этом из состояния покоя и движется по направлению воздействия. После прекращения воздействия на каретку скорость ее движения сохраняется неизменной. При кратковременном воздействии наблюдается незначительное, малозаметное изменение скорости ее движения. При длительном воздействии наблюдается большое изменение скорости.

Пытаются остановить движущуюся каретку бумажной полоской. Каретка отбрасывает полоску, почти не изменив скорости движения. Чтобы остановить каретку, необходимо действовать на нее длительное время. В рассмотренных опытах оценка измене-



ния скорости проводилась на глаз. Чтобы показать справедливость наших наблюдений, производят измерение скорости движения каретки при скомпенсированных и нескомпенсированных воздействиях на нее других тел.

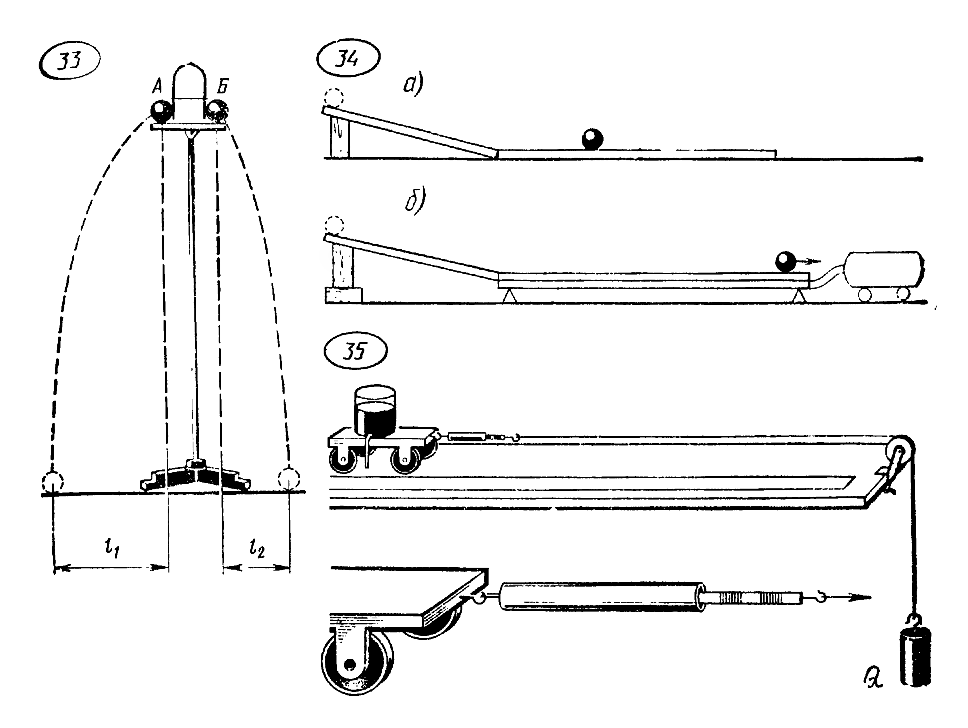
Вариант В. Обмотку прибора по механике для практикума присоединяют через конденсатор к зеркальному гальванометру, на столик тележки устанавливают капельницу и несколько керамических магнитов. Нить с чашей перекидывают через блок прибора и прикрепляют к тележке (рис. 32). Тележку освобождают от крючка, и она приходит в движение под действием перегрузка. По следам капель и показаниям гальванометра находят, что тележка движется с ускорением.

Ставят на площадку тележки груз и повторяют опыт. По следам капель и показаниям зеркального гальванометра находят, что скорость и ускорение тележки изменяются медленнее. Сравнение полосок бумаги со следами капель в обоих опытах дает основание сказать: под действием одинаковой силы тела разных масс приобретают неодинаковые ускорения, для изменения скорости необходимо время, которое зависит от массы тела. Значит, масса тела является мерой его инертности.

Опыт 18. Сравнение масс тел

Цель опыта. Показать принципиальную возможность измерения массы тел путем сравнения ее с массой эталона.

Вариант А. Собирают установку, изображенную на рисун-



ке 33. Шарик *Б* стальной, а шарик *А* пластмассовый. (Можно взять два шарика для игры в настольный теннис. Один из этих шариков надо наполнить песком.) К шарику *Б* прикреплена упругая пластинка, согнутая в дугу и скрепленная нитью. При пережигании нити пружина распрямляется, и шарики падают на пол. Звуки от их падения сливаются в один звук, что свидетельствует о равенстве времени их падения. Пройденные шариками расстояния в горизонтальном направлении разные: $l_1 > l_2$. Но $l_1 = v_1 t$, а $l_2 = v_2 t$. Поэтому $v_1 > v_2$. Неравенство скоростей v_2 и v_1 свидетельствует о неравенстве масс взаимодействующих тел. Полагаем, что $m_1 v_1 = m_2 v_2$. Если масса одного тела (эталона) известна, то масса другого тела (например, m_2) равна:

$$m_2 = m_1 \frac{v_1}{v_2}.$$

Вариант Б. На делении 50 горизонтально установленного монорельса ставят пусковую катушку и подключают ее к источнику электропитания через ключ. На каждой из двух одинаковых кареток устанавливают по два флажка на расстоянии 10 см друг от друга.

На монорельс ставят две малые каретки так, чтобы железные сердечники на их торцах были внутри катушки. Замыкают ключом электрическую цепь катушки и рукой прижимают каретки друг к другу. Железные сердечники намагничиваются и удержи-

вают каретки, преодолевая силу упругости сжатой пружины (см. рис. 17). Позади монорельса ставят фотодатчики. Координата правого фотодатчика примерно равна 60 см, левого — 20 см. На индикаторе секундомера устанавливают «000».

Размыкая ключом электрическую цепь катушки, запускают каретки. На индикаторе секундомера высвечивается число, равное времени, в течение которого правая — эталонная каретка проходит путь, равный 10 см. Это число удерживается на индикаторе секундомера до тех пор, пока левая каретка не достигнет фотодатчика. После прохождения второй кареткой левого фотодатчика к числу на индикаторе секундомера прибавляется число, равное промежутку времени, в течение которого левая каретка проходит путь, равный также 10 см. По результатам измерения вычисляют скорости движения кареток после их взаимодействия друг с другом. Оказалось, что в результате взаимодействия скорости кареток увеличились по модулю одинаково. Каретки приобрели одинаковые по модулю скорости. Делают вывод о равенстве масс кареток.

На монорельс ставят большую каретку слева от катушки. Эталонную каретку ставят справа и повторяют опыт. Измеряют промежутки времени, в течение которых каретки при равномерном движении после взаимодействия проходят расстояние 10 см, и вычисляют модули скоростей. Скорость большой каретки оказалась в 2 раза меньшей скорости эталонной каретки.

Опыт 19. Первый закон Ньютона

Цель опыта. Помочь учащимся понять содержание первого закона Ньютона и то, исключительно важное для развития физического мышления обстоятельство, что этот закон — результат теоретического обобщения опытных данных.

Вариант А. К наклонному желобу приставляют горизонтальный, на дно которого насыпают мелкий песок (рис. 34,*а*). Пускают шарик с наклонного желоба. Он прокатится по горизонтальному желобу на небольшое расстояние и остановится. Обсуждая опыт, приходят к выводу, что причина остановки — трение.

Очищают желоб от песка и повторяют опыт. Наблюдают, что шарик прокатился дальше.

Вместо простого желоба к наклонному желобу подставляют длинный (до 2 м) желоб, в котором шарик движется на воздушной подушке (рис. 34,*б*). В этом случае шарик движется до конца желоба. Обсуждая результаты опытов, приходят к выводу, что в отсутствие сил трения шарик двигался бы до тех пор, пока на него не подействовало бы другое тело и не изменило бы характер его движения.

Вариант Б. На горизонтальный монорельс устанавливают большую каретку, сжимают пружину и включают удерживающий электромагнит. Выключают питание, и каретка проходит малое расстояние. Причина торможения — трение. Включают воздухо-

дувку и тем самым почти исключают трение. Опыт повторяют и наблюдают за равномерным движением каретки вдоль всего монорельса.

Демонстрация кинофрагмента

В начале фрагмента «Первый закон Ньютона» показан шарик, привязанный на нити к штативу. Притяжение Земли скомпенсировано натяжением шнура. Приводятся и другие примеры компенсации действия притяжения Земли: груз на кране, корабль на стапелях, шайба на льду. С помощью стробоскопического метода съемки показано изменение скорости тела в аттракционе «Американские горки», где действие силы притяжения Земли не скомпенсировано. Затем идут кадры (съемка произведена стробоскопическим методом), показывающие движение шарика по наклонному и горизонтальному желобам. Сформулирован первый закон Ньютона, дано определение инерции тел. Приведены различные примеры движения тела по инерции: автомобиля, трактора, искусственного спутника Земли и т. д. В конце фрагмента рассказано об инерциальных и неинерциальных системах отсчета.

Опыт 20. Второй закон Ньютона

Цель опыта. Та же, что и в опыте 19.

Общие идеи и схемы опыта.

Существует большое число установок, с помощью которых можно проиллюстрировать учащимся содержание второго закона Ньютона и которые в принципиальном плане можно разделить на две группы. В первой группе опытов зависимость ускорения движущегося тела от действующей на него силы и массы тела демонстрируется на примере движения тележки по горизонтальному пути, а во второй — на примере движения тела по вертикали. В каждой группе опытов существуют варианты, связанные с разными способами измерения силы и ускорения.

Демонстрации, связанные с использованием движения тела по горизонтали, как показали специально поставленные опыты, воспринимаются учащимися лучше. Они им понятнее. Но такие демонстрации труднее для постановки, так как физические кабинеты школ пока не имеют ни легкоподвижных тележек, ни демонстрационных акселерометров.

Демонстрации, связанные с изучением движения тел по вертикали, проще для постановки (не нужны тележки), но в них также нечем измерять ускорение.

Вариант А. Легкоподвижную тележку устанавливают на горизонтальном столе. На тележке закрепляют динамометр и капельницу. К пружине динамометра присоединяют нить. Ко второму концу нити прикрепляется груз Q_1 (рис. 35). Около «дороги», по которой движется тележка, кладут бумажную ленту.

Открыв капельницу, отпускают тележку. Изучив расположение капель на бумаге, приходят к выводу, что тележка под действием силы упругости нити F, вызванной грузом Q_1, двигалась

равноускоренно (отношение расстояний между каплями $s_1 : s_2 : s_3 : s_4 : \ldots = 1 : 3 : 5 : 7 : \ldots$). Обозначают ускорение тележки через a.

Возвратив тележку в первоначальное положение, повторяют опыт при условии, что сила, действующая на тележку, равна $2F$. Для этого к свободному концу нити подвешивают специально подобранный (до урока!) груз Q_2. Изучение расположения капель на бумажной ленте показывает, что капли располагаются в 2 раза реже. Следовательно, ускорение тележки в 2 раза больше.

Повторив опыт для случая $3F$, обнаруживают, что ускорение стало в 3 раза больше. Опыты дают основание сообщить учащимся, что для тела постоянной массы ускорение движения всегда пропорционально приложенной к телу силе. Сообщив, что впервые к такому выводу пришел И. Ньютон, записывают на классной доске:

при $m = \text{const}$ $a \sim F$.

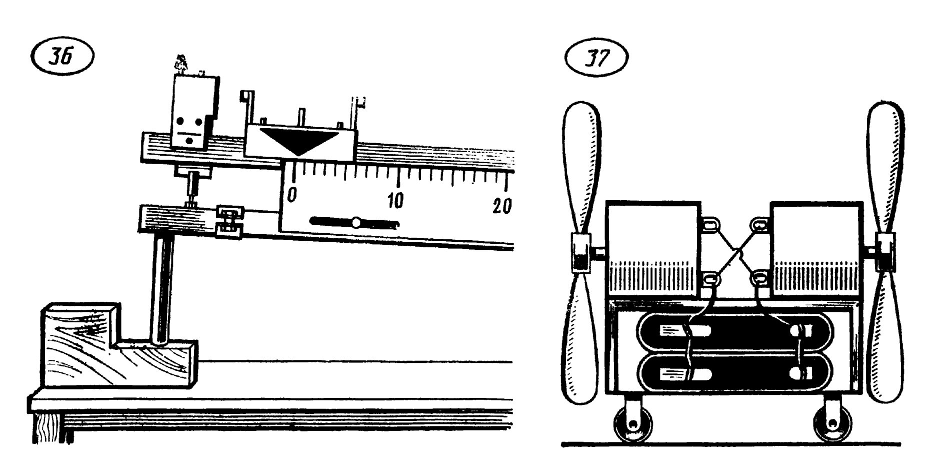
Положив на тележку дополнительный груз, масса которого равна массе тележки, повторяют опыт и обнаруживают, что в этом случае ускорение тележки (при той же действующей силе) стало в 2 раза меньше. Записывают на доске:

при $F = \text{const}$ $a \sim \frac{1}{m}$.

Обобщив результаты демонстраций и еще раз подчеркнув общность подмеченных закономерностей, записывают:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при} \quad m = \text{const} & a \sim F \\ \text{при} \quad F = \text{const} & a \sim \dfrac{1}{m} \end{array}\right\} a \sim \frac{F}{m}.$$

Для перехода к знаку равенства надо ввести коэффициент пропорциональности k:



$$a = k\frac{F}{m}.$$

При использовании одной системы единиц для измерения a, F и m $k=1$, поэтому $a=\frac{F}{m}$.

Необходимо разъяснить учащимся, что второй закон Ньютона, как и первый закон, является теоретическим обобщением опытных данных, что ни какими конкретными опытами закон установить нельзя (опыты лишь иллюстрируют справедливость закона).

Вариант Б. Описанный выше опыт можно видоизменить, заменив капельницу акселерометром, описанным в опыте по измерению ускорения (опыт 10). В этом случае постановка опыта упрощается.

Вариант В. На монорельс прибора ПДЗМ устанавливают малую каретку (ее масса 50 г), снимают пружину, включают электромагнит, на каретку ставят флажок (ширина его 5 см) (рис. 36). Монорельсу придают уклон 1°. Над монорельсом устанавливают фотодатчики на расстоянии 10—20 см друг от друга Включают воздуходувку. Выключают электромагнит, и каретка под действием силы 0,25 Н приходит в равноускоренное движение. По показаниям секундомера и известному расстоянию вычисляют ускорение по формуле $a=2s/t^2$. Опыт повторяют с большой кареткой (ее масса 100 г) при том же флажке и снова вычисляют ускорение. При сравнении результатов находят, что при постоянной силе ускорение обратно пропорционально массе.

С помощью ступенчатой деревянной подставки увеличивают угол наклона монорельса до 3°. Запускают каретку, вычисляют ускорение и находят, что при неизменной массе ускорение прямо пропорционально силе. Объединяют выводы из опытов и формулируют второй закон Ньютона.

Вариант Г. Опыт можно видоизменить и сделать более простым для восприятия, если изготовить легкоподвижную тележку, приводимую в движение двумя воздушными винтами, работающими от двух микродвигателей (рис. 37). В этом случае можно показать ускоренное движение тележки сначала под действием силы тяги одного двигателя, а затем двух. (Описание приставки к тележке приведено на с. 228.)

Демонстрация кинофрагмента

Кинофрагмент «Второй закон Ньютона» начинается с рассмотрения взаимодействия двух тел. Затем показаны устройство и принцип действия приборов для измерения ускорения — акселерометров. С помощью акселерометра измеряется ускорение при взаимодействии двух цилиндров и при этом устанавливается, что отношение ускорений данных взаимодействующих тел не меняется. На опыте устанавливается связь между ускорением и массой тела. На следующих кадрах фильма показан эталон массы и способ определения массы взвешиванием. Вводится понятие силы и устанав-

ливается зависимость между ускорением и силой. В конце фрагмента формулируется второй закон Ньютона. Продолжительность фрагмента 4 мин.

Опыт 21. Третий закон Ньютона

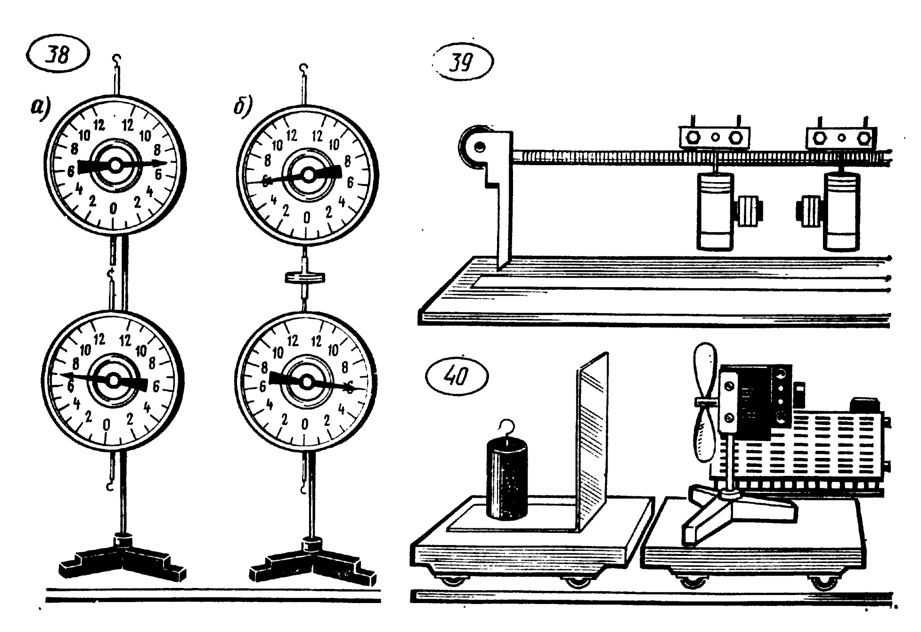
Цель опыта. Та же, что и в опытах 19 и 20. Опыты по иллюстрации третьего закона Ньютона можно разбить на две группы: первая — иллюстрирует статическое взаимодействие, вторая — динамическое взаимодействие.

1. На штативе закрепляют демонстрационный динамометр, а снизу к нему через крюк подцепляют второй (рис. 38). Предварительно их стрелки устанавливают на нулевые деления. Обращают внимание на то, что динамометры действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположно направленными (стрелки приборов поворачиваются в противоположные стороны).

2. а) На струне прибора по механике размещают две легкоподвижные тележки. С помощью уровня струне придают горизонтальное положение. Тележки, имеющие равные массы, выводят на центр струны прибора (рис. 39), сближают, сжимая пружину, и отпускают. После взаимодействия тележки проходят равные расстояния, следовательно, они имели равные ускорения.

Массу одной тележки увеличивают и снова повторяют опыт. Находят, что тележка с меньшей массой имеет большее ускорение. Записывают отношение ускорений и масс по данным опытам, а затем векторное равенство сил.

б) На одну легкоподвижную тележку устанавливают экран с гирей массой 2 кг, на другую — универсальный электродвигатель



с трехлопастным винтом (вентилятор) (рис. 40). Через реостат включают двигатель винта и обнаруживают ускоренное движение обеих тележек с примерно равным ускорением.

3. На горизонтально расположенный монорельс прибора ПДЗМ устанавливают пусковую катушку и каретки массами 100 г и 200 г. Включив ток, питающий катушку, наблюдают за показаниями счетчика-секундомера. Методом, описанным в опыте 18, определяют скорости, полученные каретками в результате взаимодействия. Расчеты показывают, что скорость большой каретки в 2 раза меньше, чем скорость малой. Так как время взаимодействия кареток одно и то же, то и ускорение, полученное большой кареткой, в 2 раза меньше ускорения малой каретки. Следовательно, опыт свидетельствует о равенстве модулей сил, действовавших на каретки в процессе взаимодействия.

Демонстрация кинофрагмента

В кинофрагменте «Третий закон Ньютона» вначале идут кадры, показывающие взаимодействие двух тел (баба копра и свая, биллиардные шары) и возникающие при этом ускорения. Из этих примеров делается вывод о силах взаимодействия и формулируется третий закон Ньютона. Следующие кадры показывают измерение динамометрами сил взаимодействия двух цилиндров. Вывод о том, что третий закон Ньютона одинаково применим ко всем телам (жидким, твердым и газообразным), раскрывается на примерах движения тел в воде, в воздухе и на Земле. Подчеркивается, что при взаимодействии двух тел природа возникающих сил одинакова: на мяч и на ракетку действуют силы упругости, на стекло и полировальный круг — силы трения и т. д. В конце фрагмента показано реактивное движение: его принцип и использование в авиации. Продолжительность кинофрагмента 4 мин.

Опыт 22. Гравитационное взаимодействие

Цель опыта. Экспериментально показать гравитационное взаимодействие двух тел. Важность опыта заключается в том, что повседневно ощущаемое и наблюдаемое взаимодействие тел с Землей в силу своей обычности и привычности учащиеся не воспринимают как проявление взаимодействия.

Внешний вид прибора, предназначенного для демонстрации гравитационного взаимодействия, показан на рисунке 41, *а*, а его схема — на рисунке 41, *б*. На прочной некрученой нити *1* подвешено коромысло *2*, к концам которого прикреплены небольшие свинцовые шарики *3*. Нить, коромысло со свинцовыми шариками находятся в кожухе *4*, предохраняющем их от влияния извне (например, от воздушных течений). На специальную (выдвигающуюся) подставку *5* против малых шариков устанавливаются массивные шары *6*. Освободив коромысло *2* от поддерживающей его вилки, наблюдают с помощью светового зайчика взаимодействие шаров: маленькие шарики, притягиваясь к большим, закручивают нить *1* и поворачивают прикрепленное к ней зеркальце *7*. Луч света, на-

правленный на зеркальце, отражается на противоположную стену аудитории. При взаимодействии шаров луч смещается по стене, а затем движется в противоположную сторону, совершая затухающие колебания с периодом 8—10 мин.

Дополнительные указания. Кронштейн для установки прибора следует наглухо и надежно закрепить вблизи демонстрационного стола на капитальной стене аудитории на высоте не ниже 1,7 м от пола (чтобы учащиеся не могли задеть его случайно головой).

Освобождать коромысло от поддерживающей его вилки надо до урока и делать это следует крайне осторожно. На уроке надо лишь:

а) включить осветитель и пронаблюдать за дрожанием светового зайчика;

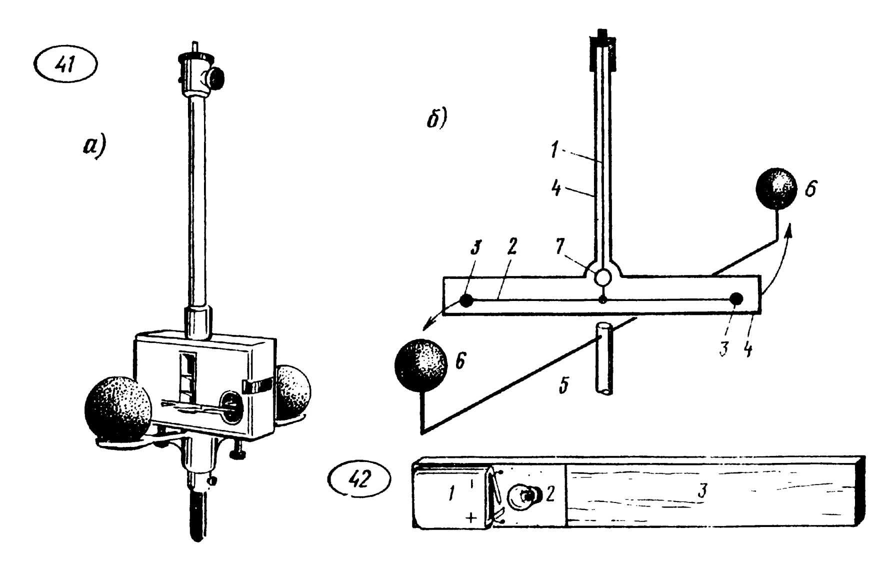
б) крайне осторожно поставить на подставки большие свинцовые шары и обратить внимание учащихся на изменившееся движение зайчика.

Демонстрация кинофрагмента из фильма «О всемирном тяготении» состоит из вступления и трех коротких фрагментов. Во вступлении к фильму рассказывается о содержании закона всемирного тяготения. Показан гравископ, установленный в Московском планетарии. С помощью гравископа демонстрируется притяжение тела небольшой массы и массивного цилиндра.

В первом фрагменте «Опыт Кавендиша» показана схема установки (крутильные весы), с помощью которой было измерено значение гравитационной постоянной. В конце фрагмента рассказано, как, используя этот опыт, можно определить массу Земли.

Опыт 23. Сравнение масс тел по силе их притяжения к Земле

Цель опыта. Напомнить учащимся знакомый им из курса физики VII класса способ сравнения масс. Разъяснить, что при взве-



шивании на весах измеряется не инертная, а гравитационная масса и что эти массы равны. Познакомить учащихся с разными типами весов.

Приняв массу какого-либо тела (например, малой каретки от прибора ПДЗМ), сравнить ее с массой другого тела (например, большой каретки).

Опыт 24. Центр тяжести

Цель опыта. Ввести понятие центра тяжести. Познакомить учащихся со способами определения центра тяжести. Подготовить учащихся к выполнению лабораторной работы.

Определяют центр тяжести длинного стержня, пластины неправильной формы, кольца. Делают вывод, что центр тяжести тела — это точка, неизменно связанная с твердым телом, через которую проходит равнодействующая всех сил тяжести, действующая на частицы тела при любом его положении. Центр тяжести может быть расположен как в теле, так и вне его.

В заключение определяют положение центра тяжести тела, которое схематично изображено на рисунке 42. Здесь батарейка от карманного фонаря, лампочка и кусок пенопласта прикреплены к легкой (лучше деревянной) линейке (пенопласт нужен для предохранения лампочки). Определив опытным путем положение центра тяжести, обращают внимание учащихся на то, что лампочка находится в центре тяжести.

Опыт 25. Движение центра масс тела

Цель опыта. Облегчить введение нового для учащихся понятия. Показать учащимся, что положения центра тяжести и центра масс твердого тела совпадают.

В данном опыте можно использовать тело, центр тяжести которого был определен в предыдущем опыте (см. рис. 42). Бросают тело (взяв его за пенопласт) под углом к горизонту над демонстрационным столом. Учащиеся видят, что тело летит, кувыркаясь в воздухе.

Выключив свет в аудитории и включив лампочку, повторяют опыт. Учащиеся видят, что светящаяся лампочка движется по плавной кривой, напоминающей параболу.

Опыт дает основание (создает предпосылки) для разъяснения того, что:

а) положения центра масс и центра тяжести для твердого тела совпадают;

б) центр масс твердого тела движется так, как двигалась бы материальная точка.

В заключение демонстрации надо разъяснить учащимся, что понятия центра масс и центра тяжести разные: центр тяжести имеет смысл только в однородном поле тяготения, а центр масс всегда.

Опыт 26. Траектория движения тела, брошенного горизонтально

Цель опыта. Показать учащимся траекторию движения тела, брошенного горизонтально, и доказать, что тело движется по параболе.

Вариант А. На классной доске собирают установку для запуска шарика в горизонтальном направлении (рис. 43). Шарик покрывают слоем зубной пасты. Двигаясь, шарик в ряде точек классной доски оставляет заметный след. Восстановив след полностью, измеряют расстояния, пройденные по вертикали за равные промежутки времени, устанавливают, что они удовлетворяют уравнению $h=kt^2$. Опираясь на знание из курса математики формулы $y=Rx^2$, делают вывод, что траектория движения шарика — парабола.

Вариант Б. На тубус склянки Вульфа надевают резиновую трубку со стеклянным наконечником от пипетки. Склянку устанавливают на подъемном столике, наливают в нее воду, открывают кран и наблюдают за струей воды, т. е. она описывает траекторию, подобную траектории движения тела, брошенного горизонтально (рис. 44). Опыт получается эффектнее, если воду подкрасить хвойным экстрактом для ванн.

Опыт 27. Время движения тела, брошенного горизонтально

Цель опыта. Показать, что время движения тела, брошенного горизонтально, равно времени падения тела с такой же высоты по вертикали.

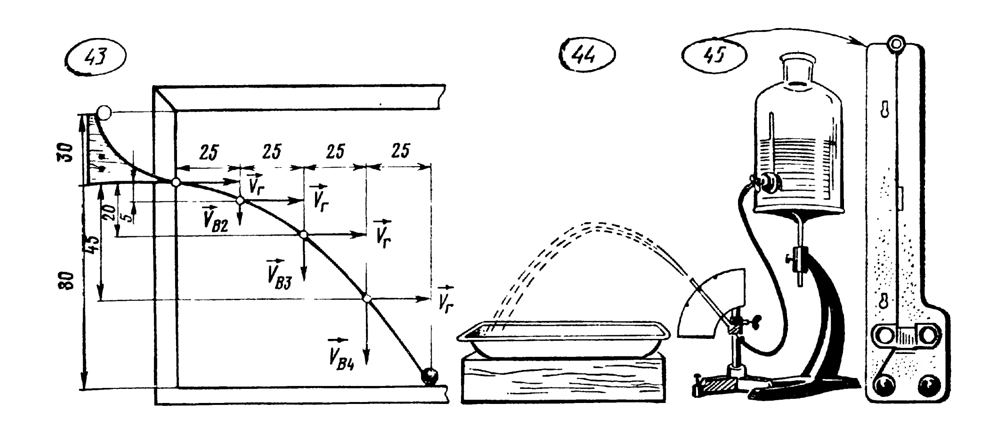
Прибор для демонстрации одновременности падения тел зажимают в лапке штатива (рис. 45), отводят маятник и по звуку убеждаются, что шарики, одновременно брошенные горизонтально и вертикально, достигают поверхности стола за одно и то же время. Объясняют, что это результат того, что оба шарика движутся под действием силы тяжести, которая сообщает им равное ускорение.

Демонстрация кинофильма

Второй фрагмент кинофильма «О всемирном тяготении» — «Движение в поле тяготения» — начинается с демонстрации падения двух тел: одного вертикально, другого горизонтально. Этим опытом устанавливается независимость ускорения свободного падения от направления движения тела. Кратко рассказано о состоянии тел в невесомости и показано несколько кадров.

Вторая половина фрагмента знакомит учащихся с формой траектории движения тел в поле силы тяжести. Проводится аналогия между движением стального шарика вблизи сильного магнита и движением тел у поверхности Земли. Показано движение искусственного спутника Земли по круговой, эллиптической и параболической орбитам. Дается понятие о первой и второй космических скоростях.

Третий фрагмент — «Тяготение служит людям» — рассказывает



о практическом использовании явления тяготения. Приведены следующие примеры: образование приливов и отливов, использование их для работы приливной электростанции; измерение плотности земных пород гравиметрами и поиски полезных ископаемых с помощью этих приборов. Несмотря на наличие лишнего (на данный момент обучения) материала, демонстрация этих двух фрагментов полезна.

Опыт 28. Вес тела, движущегося с ускорением по вертикали

Цель опыта. Показать на опыте изменение веса при ускоренном движении тела по вертикали.

Вариант А. На нити, перекинутой через блок, подвешена деревянная пластина (рис. 46, *а*). К верхнему концу деревянной пластины прикреплена резинка, на которой подвешено тело m. Верхняя половина пластины окрашена в белый цвет, нижняя — в черный. Подвесив к свободному концу нити груз, масса которого $M>m$, наблюдают, что при ускоренном движении пластины вертикально вверх вес тела m увеличивается. Об этом свидетельствует опускание тела относительно пластины вниз (рис. 46, *б*). Подвесив к свободному концу нити груз, масса которого $M<m$, наблюдают, что при ускоренном движении тела вниз его вес уменьшается (рис. 46, *в*).

Вариант Б. Демонстрацию изменения веса при равноускоренном движении груза по вертикали можно провести с помощью трубчатого динамометра, рассчитанного на 10 Н, если к его крючку подвесить гирю массой 0,5 кг. При подъеме гири с ускорением вертикально вверх его показания увеличиваются. Это и есть свидетельство увеличения веса тела, т. е. перегрузки. Наоборот, при ускоренном движении тела по вертикали вниз показания динамометра уменьшаются, что свидетельствует об уменьшении веса тела.

Вариант В. Демонстрационный динамометр устанавливают на штативе (рис. 47). К нижнему концу стержня динамометра прикрепляют блок. Через блок перекидывают нить. Стрелку дина-

мометра ставят на нулевое деление. К одному концу нити подвешивают 3 демонстрационных груза массами по 100 г каждый. Придерживая свободный конец нити рукой (или грузом), замечают показания динамометра (3Н). Резко (с ускорением) поднимая грузы, замечают увеличение показаний динамометра (перегрузка!), а резко опуская — уменьшение показаний.

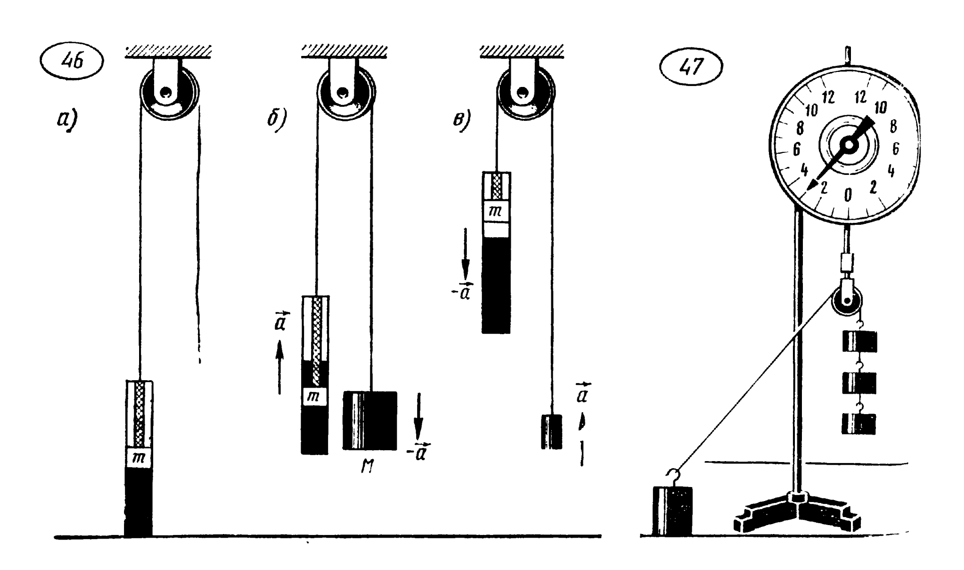
Подвешивают к свободному концу нити один груз массой 100 г и ставят перед учащимися вопрос: каково будет показание динамометра при движении образовавшейся системы грузов? Дав время на расчеты и выслушав ответы, ставят опыт. Показания динамометра 2 Н. Проводят соответствующие расчеты.

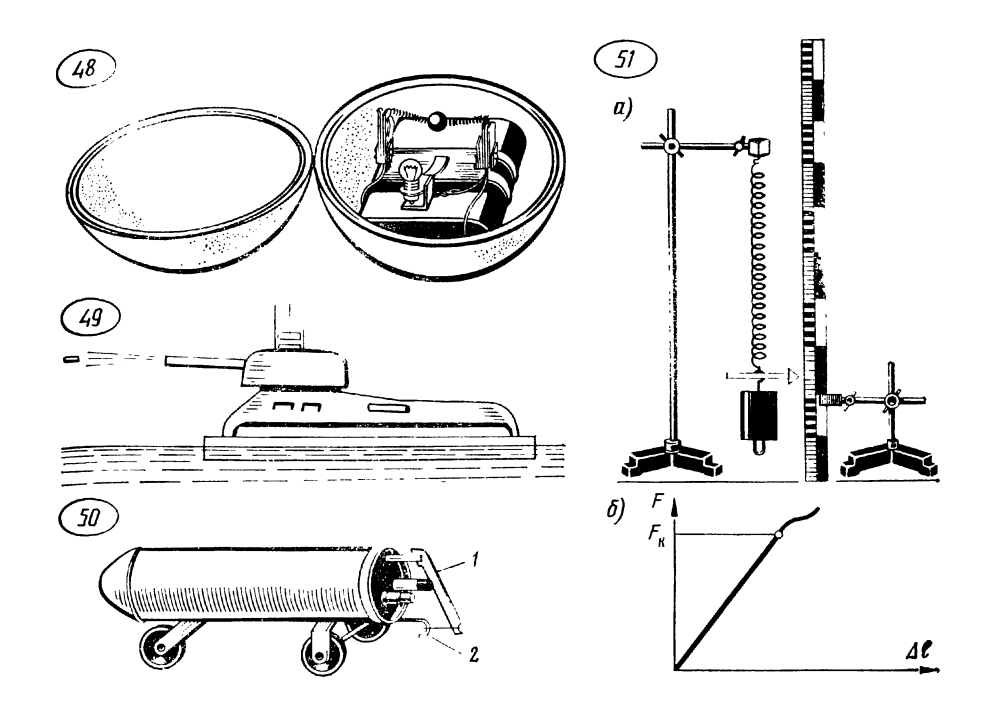
Опыт 29. Невесомость

Цель опыта. Показать учащимся, что во всех случаях, когда на тело действуют только силы тяготения, тело находится в состоянии невесомости.

Вариант А. В установке, изображенной на рисунке 46 (см. предыдущий опыт, вариант А), пластину с грузом поднимают на наибольшую высоту и отпускают нить. Пластина падает свободно. Груз под действием силы упругости резинки поднимается вверх относительно планки до белой черты. После падения пластины снимают груз и убеждаются, что при свободном падении резинка была не растянута. Следовательно, груз находится в состоянии невесомости.

Вариант Б. В установке, изображенной на рисунке 47, поднимают 3 груза вверх, снимают противовес и предоставляют грузам возможность свободно падать. Стрелка динамометра стоит на нулевом делении, что свидетельствует о том, что грузы при свободном падении находились в состоянии невесомости.





Вариант В. Опыт с прибором для демонстрации невесомости (рис. 48) позволяет показать невесомость, если тело движется по любой траектории только под действием силы тяготения.

Прибор представляет собой прозрачный шар, внутри которого находится тело, подвешенное на двух нитях к упругим контактным пластинам. Движение тела ограничено так, что оно может смещаться, натягивая одну или обе нити и размыкая при этом один или оба контакта. Вследствие этого электрическая цепь, состоящая из лампочки и батареи гальванических элементов, оказывается разомкнутой и лампочка не горит.

Если шар подбрасывать вверх и ловить или перебрасывать его из рук в руки через весь класс, то наблюдаемое при этом горение лампочки свидетельствует, что контакты замкнуты, т. е. нити, на которых подвешено тело, не натянуты. Из этого можно заключить, что, находясь в полете, подвешенное в шаре тело в любом положении находится в состоянии невесомости.

Демонстрация кинофрагмента «Невесомость»

В начале фрагмента показано плавание космонавта в космическом корабле, с помощью мультипликации с фигурой человека дано объяснение проявления веса и его определение. Показаны прыжки человека на батуте и кратковременное состояние невесомости. Невесомость на протяжении 50—60 с создается с помощью

полета самолета, движущегося по параболе, а длительный период пребывания человека в состоянии невесомости показан при космических полетах. В заключение показан выход А. Леонова в открытый космос.

Опыт 30. Ракета. Реактивное движение. Космические полеты

Цель опытов. Помочь учащимся понять физические основы реактивного движения и космических полетов.

Вариант А. На пенопластовой пластине укрепляется детская игрушка — танк, стреляющий один за другим шестью снарядами. Для лучшего эффекта с танка надо снять утяжеляющие его детали. После этого танк устанавливается в большую фотокювету, наполненную водой (рис. 49).

Включив двигатель танка, наблюдают, что при каждом выстреле танк движется в сторону, противоположную движению снаряда. При этом с каждым выстрелом скорость движения танка возрастает.

Вариант Б. Выходное отверстие (сопло) баллона реактивной тележки (рис. 50) плотно закрывают пробкой, а рычаг *1*, удерживающий пробку, привязывают к крючку прочной нитью *2*. Затем с помощью насоса Комовского закачивают в баллон воздух, сделав 50—60 оборотов маховика насоса.

Тележку ставят на край демонстрационного стола и пережигают нить. Воздух, вытекая из сопла, толкает тележку вперед, и она перемещается по столу на расстояние до 2 м.

Вариант В. Вдоль класса на высоте 2 м между партами натягивают гладкую проволоку. На проволоку с помощью проволочных колец подвешивают модель ракеты, которая наполнена небольшим количеством воды и воздухом. Сняв ракету с предохранителя, наблюдают движение ракеты.

Демонстрация таблицы «Космический корабль «Восток»

На таблице изображена многоступенчатая ракета с жидкостными реактивными двигателями. Каждая ступень имеет свой двигатель, баки с горючим и окислителем, систему управления. При взлете работает сначала двигатель первой ступени, затем второй и т. д. Когда двигатель последней ступени прекратит свою работу, то дальнейшее движение происходит по инерции. Чтобы обеспечить ракете максимальную дальность полета, ее запускают вертикально, чтобы она преодолела толщу воздуха по наикратчайшему расстоянию. Затем ракета с помощью рулей (реактивных двигателей управления) подводится в заранее рассчитанную точку траектории со строго определенной скоростью по величине и направлению.

Траектория движения ракеты изображена на таблице, где указаны последовательные моменты отбрасывания ступеней ракеты.

Демонстрация кинофильмов «Физические основы космических полетов» и «Успехи СССР в освоении космоса»

В фильме рассказывается о первой и второй космических скоростях. Если направление скорости спутника будет параллельно касательной к земной поверхности, а начальная скорость будет равна первой космической, спутник выйдет на круговую орбиту. Для сообщения спутнику такой скорости используются многоступенчатые ракеты. Даны числовые значения первой космической скорости в зависимости от высоты полета. Приведены условия для запуска спутника, неподвижного относительно Земли. На числовых примерах объяснена зависимость формы орбиты спутника от начальной скорости. Для второй космической скорости дано ее числовое значение вблизи поверхности Земли. В качестве примера использования второй космической скорости рассказано о запуске на Луну автоматических станций. В конце фильма показана ориентация корабля в полете, полет на Луну, возвращение на Землю.

Кинофильм «Успехи СССР в освоении космоса» начинается с запуска первого ИСЗ 4 ноября 1957 г. Широко показаны цели и задачи запусков ИСЗ для интенсивного развития народного хозяйства страны, для развития всех средств связи. В частности, рассказано и показано назначение спутников-ретрансляторов для трансляции программ Центрального телевидения по всей территории страны.

Раскрыта роль автоматических станций, запускаемых на Луну, Венеру и Марс. Рассказано о траектории движения различных станций и ее коррекции.

Опыт 31. Закон Гука

В отличие от закона всемирного тяготения закон Гука не является фундаментальным законом. Его присутствие в курсе механики связано с необходимостью измерения сил с помощью динамометров. Учащиеся знакомы с закономерностью, открытой в 1660 г. Р. Гуком, и знают принцип устройства динамометра. Поэтому *цель* настоящей демонстрации — помочь учащимся углубить и соответствующим образом систематизировать знания о деформации твердых тел.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 51. Используемую в этом опыте пружину можно изготовить из неотожженной стальной проволоки диаметром 0,5—1 мм, намотав на любой стержень, имеющий в сечении окружность. Число витков пружины не менее 20.

В начале опыта фиксируют начальную длину пружины. Подвешивают к нижнему концу пружины груз массой 100 г и отмечают удлинение пружины. На первой стадии опыта обнаруживают, что абсолютное удлинение пропорционально приложенной к пружине силе:

$$\Delta l \sim F.$$

Снимают груз и обнаруживают, что длина пружины в недефор-

мированном состоянии не изменилась. Сообщают, что деформации, исчезающие полностью после снятия груза (тело восстанавливает свою первоначальную форму), называют упругими.

Ставят перед классом вопрос: а всегда ли будет справедлива эта закономерность? Продолжая опыт, обнаруживают, что, начиная с некоторой силы F_k (рис. 51, *б*), удлинение пружины не пропорционально приложенной силе. Сообщают, что такие деформации называют неупругими. Делают вывод, что линейная зависимость между абсолютной деформацией и приложенной силой справедлива только для упругих деформаций. Подмеченную зависимость следует записать в виде

$$\Delta l=\frac{F}{k},$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый жесткостью. Чем больше жесткость, тем меньше абсолютная деформация.

2. Заготавливают 4 резинки одинакового сечения и длинами l, $2l$, $3l$ и $4l$. Резинку длиной $4l$ складывают вдвое. Концы всех 4 резинок прикрепляют к одинаковым крюкам, с помощью которых: а) резинки крепятся в штативе; б) к резинке подвешиваются грузы. Закрепив первую резинку и подвешивая к ней одинаковые грузы, обнаруживают, что

$$\Delta l \sim F.$$

Закрепив рядом резинку длиной $2l$, обнаруживают, что ее абсолютное удлинение при одинаковых деформирующих силах в 2 раза больше. Закрепив рядом резинку длиной $3l$, обнаруживают, что ее абсолютное удлинение при тех же условиях в 3 раза больше. Следовательно, при $F=\text{const}$ $\Delta l \sim l$. Подвесив рядом резинку длиной $2l$, но имеющую площадь поперечного сечения $2S$ (резинка сложена вдвое), видят, что ее удлинение в 2 раза меньше, чем у резинки той же длины, но сечением S. Следовательно, удлинение обратно пропорционально площади поперечного сечения при $F=\text{const}$, $l=\text{const}$ $\Delta l \sim \frac{1}{S}$.

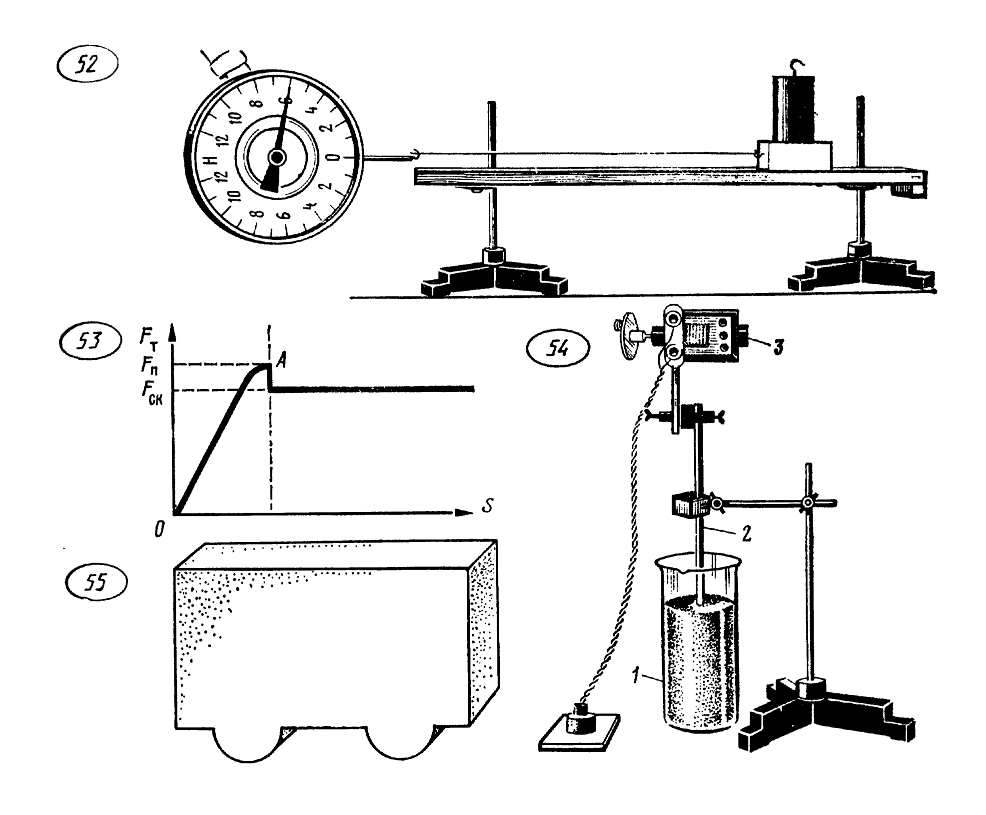
Объединяя результаты ответов, записывают:

$$\Delta l \sim \frac{lF}{S} \text{ или } \Delta l=\frac{lF}{kS}.$$

Опыт 32. Силы трения покоя и скольжения

Цель опыта. Показать на опыте существование сил трения покоя, а также то, что силы трения покоя больше сил трения скольжения.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 52. Осторожно и медленно увеличивая силу натяжения нити, замечают, что брусок не движется. Следовательно, на тело действуют другие силы, уравновешивающие приложенную внешнюю силу. Равнодействующую этих противодействующих движению тела сил назвали



силами трения покоя. Увеличивая приложенную к бруску силу, замечают, что при некотором значении этой силы F_A (рис. 53) брусок приходит в движение и показания динамометра уменьшаются. Таким образом, сила трения покоя больше силы трения скольжения.

2. То обстоятельство, что сила трения скольжения меньше силы трения покоя, используется в технике для вибрационного погружения свай. Свая, поставленная в рыхлый грунт, под действием силы тяжести в грунт не погрузится. Этому мешают силы трения покоя между сваей и грунтом. Но если сваю тем или иным образом заставить вибрировать, силы трения станут меньше, так как вместо сил трения покоя начнут действовать меньшие силы трения скольжения. Для демонстрации этого явления собирают установку, изображенную на рисунке 54. В сосуд с песком *1* слегка погружают «сваю» *2* (короткий стержень от штатива), на которую укрепляют универсальный двигатель *3* с эксцентриком на валу. Для того чтобы «свая» не упала, ее охватывают (не зажимая) лапкой от штатива. Включив двигатель, наблюдают довольно быстрое погружение «сваи» в песок.

Опыт 33. Законы сухого трения

Цель опыта. Напомнить и закрепить знания учащихся о трении, известные им из курса физики VII класса.

1. Собирают установку предыдущего опыта (см. рис. 52) и демонстрируют независимость силы трения скольжения от площадки соприкасающихся поверхностей. Для этого брусок ставят сначала так, чтобы площадь соприкосновения была большей, а затем меньшей. На брусок ставят дополнительный груз и наблюдают возрастание силы трения скольжения.

Наконец, брусок ставят так, чтобы его трущейся поверхностью была торцовая, и обнаруживают, что сила трения скольжения зависит от материала трущихся поверхностей.

2. Весьма запоминающийся вариант опыта можно поставить, если в школьной мастерской из алюминия или пластмассы (их легче обрабатывать) изготовить тело, изображенное на рисунке 55. Ставя тело в любое положение, убеждаются, что сила трения скольжения во всех случаях одна и та же.

Опыт 34. Трение качения

Цель опыта. Показать, что сила трения качения меньше силы трения скольжения.

Демонстрационный каток (рис. 56) тянут по доске демонстрационного трибометра. Замечают, что сила трения качения очень мала.

Вставляют в отверстие катка стержень, препятствующий его вращению, и повторяют опыт. Замечают, что сила трения стала значительно больше.

Опыт получится лучше, если каток изготовить из обрезка трубы, внутренность которой залить раствором песка, смешанного с цементом или известью. Вдоль оси катка надо пропустить стержень. В этом случае сила трения больше и демонстрация становится более выразительной.

Демонстрация кинофрагмента «Принцип относительности Галилея»

В кинофрагменте формулируется закон инерции, который установил Галилей для систем отсчета, связанных с Землей. Показана справедливость закона для равномерного и прямолинейного движения судна, поезда. Приведены слова Галилея об одинаковости протекания механических явлений в различных инерциальных системах. Дано определение инерциальной системы отсчета.

На конкретных иллюстрациях при торможении поезда или увеличении им скорости, а также при равномерном движении его по криволинейной траектории показано невыполнение закона инерции. Затем введено понятие инерциальной системы отсчета. Одной из таких систем является Земля. Показаны крутые правые и отлогие левые берега рек в северном полушарии. Явление подмывания берегов объяснено с помощью скатывающегося мяча на неподвижном и вращающемся диске.

§ 9. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Полное описание изменений, происходящих в изолированной механической системе тел, возможно с помощью законов динамики. Но в ряде случаев это затруднено либо из-за большого числа взаимодействующих тел, либо из-за сложности получающихся уравнений. В этом случае решить задачу можно с помощью полученных в результате обобщения опытных данных законов, согласно которым численное значение некоторых физических величин, характеризующих изолированную систему тел, сохраняется неизменным.

Важнейшими из этих законов, справедливых для любых изолированных систем, являются законы сохранения энергии и импульса. Следует при этом иметь в виду, что, хотя математические формулы, описывающие эти законы, можно получить путем несложных преобразований уравнений динамики, значение этих законов значительно шире. Они справедливы и в тех областях, где законы механики перестают действовать, например в микромире, при больших скоростях движений частиц, при необратимых преобразованиях механической энергии в другие виды и т. д.

Хотя законы сохранения сформулированы на основании опытных данных, следует иметь в виду, что в ходе демонстрационных опытов не следует ставить задачи «проверки» этих законов. Дело не в том, что законы нарушаются, нет, они справедливы всегда, но в ходе учебного опыта не всегда есть возможность учесть все преобразования энергии или импульса и при «проверке» неучтенная часть энергии или импульса может породить неверное представление о нарушении закона. Кроме того, и это особенно важно для воспитания и образования учащихся, законы физики нельзя доказать или отвергнуть единичными опытами. Цель описанных ниже опытов — помочь учащимся в освоении таких важных понятий физики, какими являются понятия изолированной системы, энергии и импульса, а также в раскрытии глубокого смысла, отраженного в законах сохранения.

Опыт 35. Квазиизолированные системы

Цель опыта. Помочь учащимся понять, что, хотя понятие изолированной (замкнутой) системы — научная идеализация и реально изолированных (замкнутых) систем (в точном смысле данного им определения) не существует, ряд реальных систем в условиях конкретных задач можно рассматривать условно изолированными (условно замкнутыми). То обстоятельство, что законы сохранения справедливы лишь для изолированных систем, делает это понятие одним из основных понятий физики. Рассмотрение квазизамкнутых систем должно иллюстрироваться соответствующими опытами.

Вариант А. Монорельс прибора ПДЗМ устанавливают горизонтально. Большой каретке сообщают рукой необходимую скорость. Каретка, ударяясь о правую и левую опоры, длительное время совершает колебательное движение. Пока каретка совер-

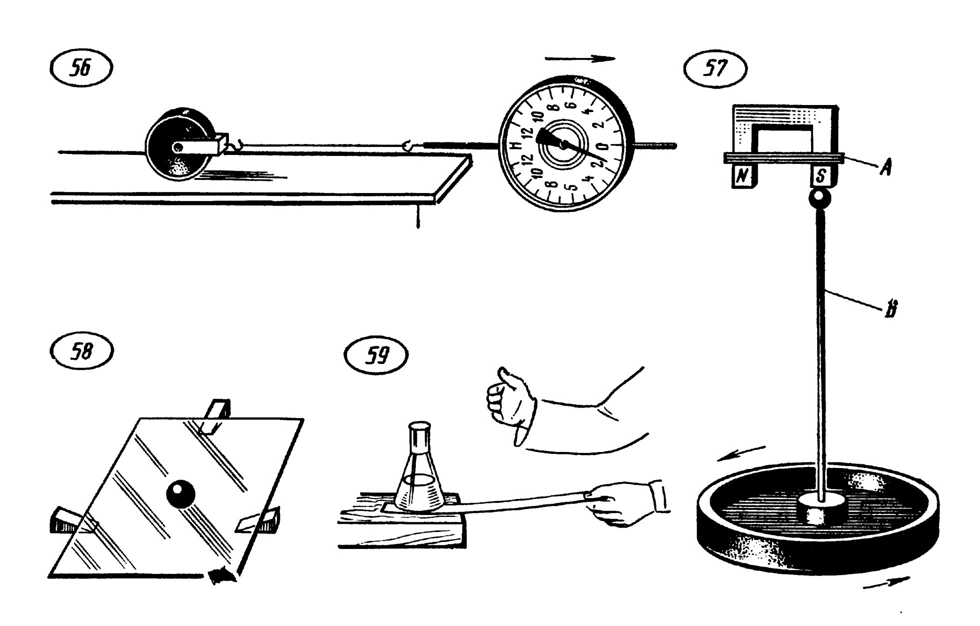
шает колебания, надо объяснить учащимся, что в этом опыте сила тяжести уравновешена силой реакции воздушной подушки, силы трения очень малы и в ряде случаев эту систему можно считать условно замкнутой.

Вариант Б. Массивный свинцовый (или медный) диск укрепляют на железном стержне, на верхний конец которого навернут шарик от электроскопа. Полученное тело подносят к отполированному полюсу сильного магнита (рис. 57). Осторожно сообщают диску вращательное движение. При тщательной постановке опыта диск может вращаться в течение всего урока. Магнитный шунт *А*, изготовленный из железа, нужен для подбора минимально необходимой силы притяжения стержня *Б* к полюсу магнита. Сообщают учащимся, что такую систему можно рассматривать как условно замкнутую. В ней силы трения очень малы, а сила тяжести уравновешена силой реакции подвеса. Необходимо сообщить, что подобные магнитные подвесы используются в науке и технике.

Вариант В. Легкоподвижную тележку устанавливают на горизонтальном столе. При соответствующем подборе груза тележка движется по столу равномерно. Объясняют учащимся, что и эту систему можно рассматривать как условно замкнутую, так как сила тяжести уравновешена силой реакции опоры, сила трения — силой упругости нити, силы сопротивления воздуха очень малы.

Опыт 36. Импульс силы

Цель опыта. Помочь учащимся усвоить понятие импульса силы. Показать его зависимость от действующей силы и времени ее действия.



Вариант А. На поверхность демонстрационного стола устанавливают горизонтально небольшой лист стекла. Если поверхность стола не горизонтальна, используют клинышки. На стекло помещают стальной шарик (рис. 58). Быстро проносят над шариком магнит. Шарик остается в покое. Повторяют опыт, но магнит над шариком проносят медленно. Шарик движется за магнитом. Делают вывод, что результат взаимодействия тел зависит от времени взаимодействия.

Повторяют опыт, приблизив магнит к стальному шарику, и замечают, что даже при быстром движении магнита шарик начинает двигаться. Делают вывод, что результат взаимодействия тел зависит от силы взаимодействия.

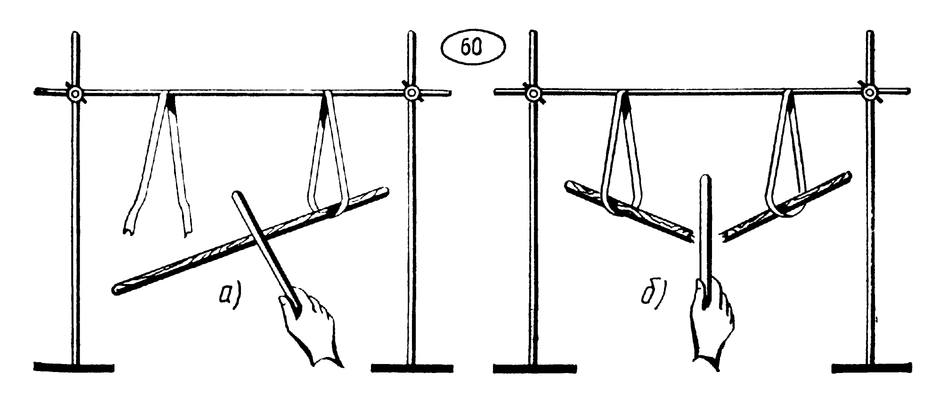
Вариант Б. На демонстрационный стол кладут длинную полоску прочной бумаги. На край полоски ставят графин с водой или стакан (рис. 59). Медленно тянут полоску. Графин движется вместе с бумагой. Когда графин будет находиться у края стола, делают паузу и сообщают учащимся, что сейчас изменят результат опыта. Резко дернув полоску бумаги, демонстрируют, что графин остался неподвижным.

Вариант В. Из плотной бумаги вырезают три полоски шириной 1—2 см и длиной 30—40 см. Каждую из полосок заранее склеивают в кольцо. Два кольца надевают на длинный стержень от штатива, укрепленный между двумя штативами (рис. 60). В кольца вставляют сухую деревянную палку. Медленно нажимают на деревянную палку коротким стержнем от штатива до тех пор, пока одно из колец не порвется.

Заменив порванное кольцо новым, повторяют опыт, но в этом случае бьют по деревянному стержню резким отрывистым ударом. Стержень ломается, а кольца остаются целыми.

Опыт 37. Импульс тела

Цель опыта. Показать учащимся, что движение тела можно характеризовать величиной, называемой количеством движения или импульсом тела; создать предпосылки для введения нового для учащихся понятия импульса тела.



Собирают установку, изображенную на рисунке 61. Легкоподвижная тележка при скатывании с наклонной плоскости лишь слегка сдвигает тело *А*. Нагрузив тележку, повторяют опыт. В этом случае тело *А* сдвигается значительно дальше. Делают вывод, что для характеристики движения тела надо знать его массу.

Изменив угол наклонной плоскости, повторяют опыт с нагруженной тележкой. Тело *А* сдвигается еще дальше. На основании этого делают вывод, что для характеристики движения надо знать и его скорость, и его массу.

Опыт создает предпосылку для введения понятия импульса тела.

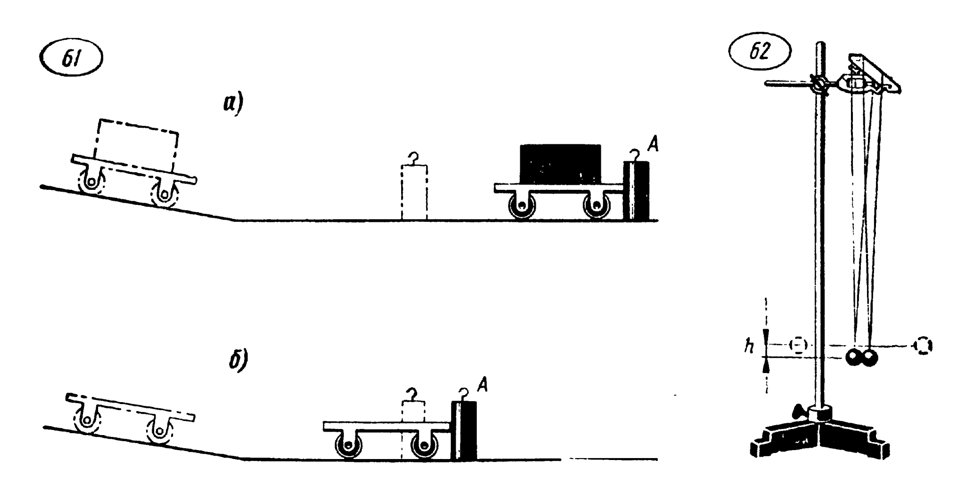
Опыт 38. Закон сохранения импульса

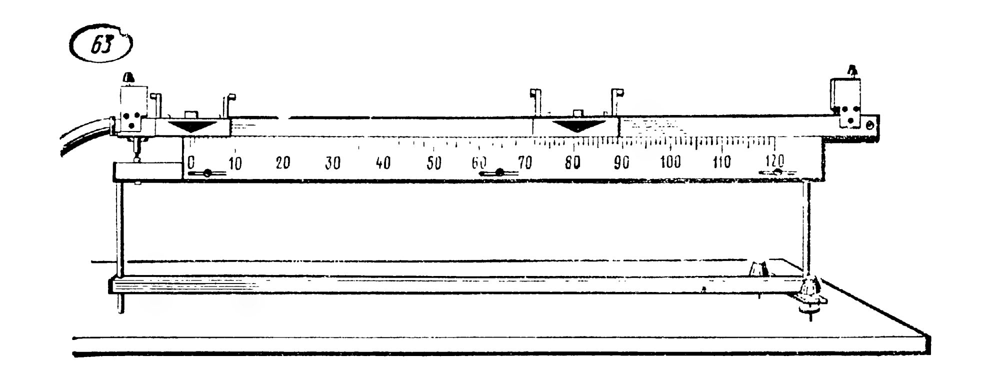
Цель опыта. Показать, что в изолированной системе тел векторная сумма импульсов взаимодействующих тел остается постоянной.

Вариант А. На бифилярных подвесах подвешивают два одинаковых стальных шара (рис. 62). Отведя один из шаров в сторону на высоту h, отпускают его. Замечают, что при ударе первый шар останавливается, а второй поднимается на такую же примерно высоту h.

Анализируя опыт, приходят к выводу, что векторная сумма импульсов в процессе взаимодействия осталась прежней. Этот вывод следует подтвердить экспериментально, повторив опыт. Обращают внимание учащихся на то, что после удара второго шара по первому этот шар отклоняется также примерно на высоту h.

Вариант Б. Легкоподвижную тележку с воздушным винтом, приводимым в движение электродвигателем, ставят на стол и включают двигатель. Тележка движется. Выключив двигатель, на тележку надевают плотно прилегающий кожух с прозрачной передней стенкой и повторяют опыт. Тележка стоит на месте. Опыт сви-





детельствует, что векторная сумма импульсов взаимодействующих тел изолированной (замкнутой) системы остается неизменной.

Вариант В. На горизонтальный монорельс прибора ПДЗМ устанавливают две одинаковые каретки: одну в центре монорельса, другую у электромагнита (рис. 63). Включают воздуходувку, выключают электромагнит, и первая каретка приходит в движение. При столкновении первая каретка останавливается, вторая приходит в движение примерно со скоростью движения первой каретки.

Проводят аналогичный опыт с каретками разных масс. Для этого одну каретку заменяют большой. Снова убеждаются в том, что при взаимодействии они обмениваются импульсами.

Демонстрация кинофрагмента «Импульс тела»

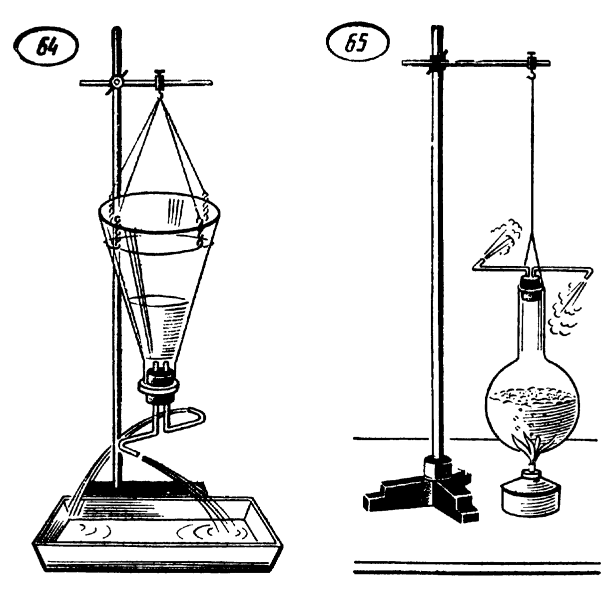
В кинофрагменте показаны опыты с прибором на воздушной подушке и модель взаимодействия для замкнутой системы тел. В последующих кадрах показаны опыты, для которых сопоставляются скорости, приобретенные телами различной массы в результате одинакового воздействия на них небольшими «снарядами», и формулируется понятие «импульс тела».

Рассмотрение закона сохранения импульса в векторной форме осуществляется на примере двух биллиардных шаров на горизонтальном столе. С помощью мультипликационных съемок иллюстрируется равенство суммарных импульсов шаров до соударения и после него, рассматривается процесс разрыва снаряда и равенство скорости центра масс снаряда и центра масс его разлетающихся осколков. В заключение на примерах рассказывается об универсальности закона сохранения импульса. Кинофильм «Закон сохранения импульса» имеет аналогичное кинофрагменту содержание.

Опыт 39. Реактивные двигатели

Цель опыта. Объяснить принцип устройства и работы реактивных двигателей.

Вариант А. В пробке № 29 проделывают два отверстия под стеклянные трубки диаметром по 7 мм каждая. Двум стеклянным трубкам над пламенем горелки придают форму, показанную на



рисунке 64. Концы этих трубок оттягивают так, чтобы на них получились сопла диаметром не более 1 мм. Пробку вместе с трубками вставляют в дно конусообразного сосуда, который подвешивают на штативе. В сосуд наливают воду и наблюдают за ее вытеканием, а вместе с тем за вращением сосуда. Причиной, вызвавшей вращение сосуда, является импульс, переданный ему струями воды.

Вариант Б. Колбу наполняют водой на $^1/_3$ или $^1/_2$ ее объема (рис. 65). Горлышко колбы закрывают той же пробкой, что и в первом варианте. Колбу подвешивают на штативе. Под колбу подводят пламя горелки. Вода закипает, пар с силой вырывается из сопел, и колба приходит во вращение. Колба вращается за счет импульса, переданного ей струями пара.

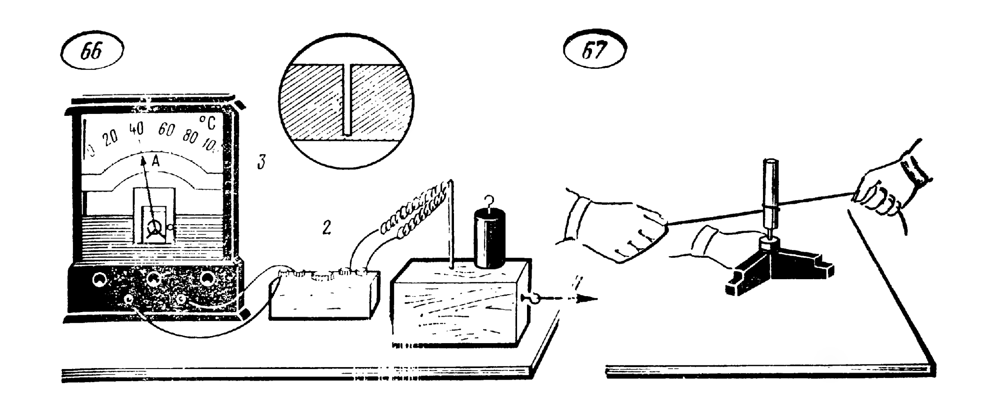
Опыт 40. Превращение одних видов движения в другие

Цель опыта. Энергия — общая (универсальная) мера движения и взаимодействия всех видов материи. Для того чтобы ввести первоначальное представление об энергии, необходимо показать взаимные превращения одних видов движения в другие. Этой цели и служат описываемые ниже опыты.

1. а) Деревянный брусок со вставленным в специально высверленное (почти до дна) отверстие датчиком от демонстрационного электрического термометра толкают вдоль стола (рис. 66). Замечают, что стрелка гальванометра отклонилась на несколько делений. Анализируя опыт, делают вывод, что в этом опыте механическое движение преобразуется во внутреннее движение молекул, а последнее — в электрическое.

б) На установке, изображенной на рисунке 67, демонстрируют преобразование механического движения во внутреннее движение молекул, а внутреннее движение молекул снова в механическое. В латунный стаканчик наливают серный эфир или ацетон объемом 2—3 см³.

в) Повторяют опыт 13, вариант Б. Объясняют, что наблюдаемые в опыте искры — это мелкие кусочки металла и наждака, на-



гретые до свечения. Опыт свидетельствует о превращении механического движения во внутреннюю энергию движения молекул.

2. На установке, изображенной на рисунке 68, наблюдают превращение механического движения груза Q в электрическое движение.

3. Превращение электрического движения в механическое наблюдают на установке, изображенной на рисунке 68.

4. На установке, изображенной на рисунке 69, демонстрируют преобразование внутреннего движения молекул в механическое.

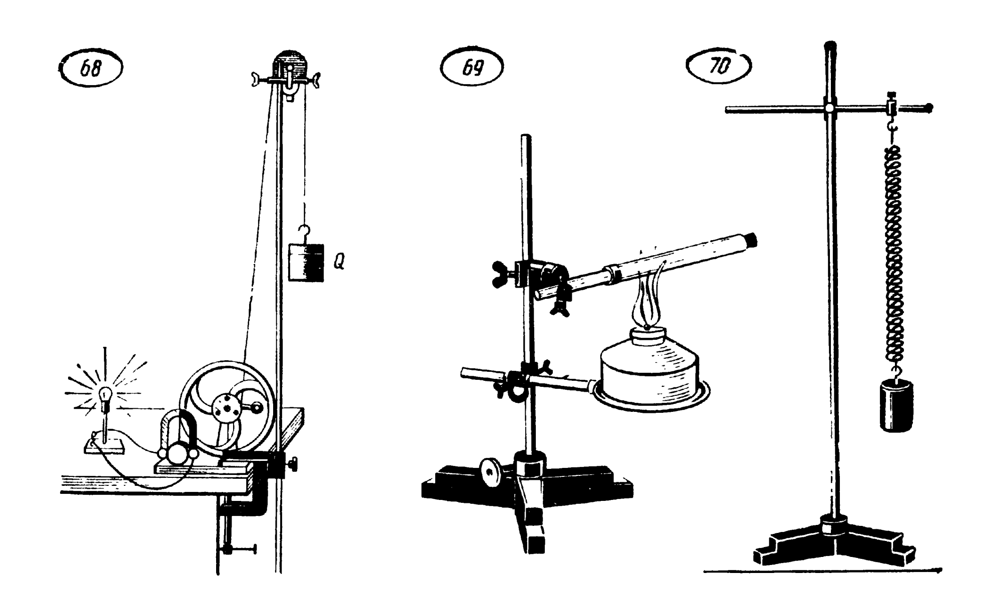
Опыт 41. Преобразование потенциальной энергии в кинетическую и обратно

Цель опыта. Показать взаимопревращение потенциальной и кинетической энергии.

Вариант А. Собирают установку, изображенную на рисунке 70. Отведя демонстрационный груз от положения равновесия, наблюдают свободные колебания груза. Опыт свидетельствует о взаимопревращениях потенциальной и кинетической энергии.

Вариант Б. Взаимопревращение кинетической и потенциальной энергии демонстрируют на примере колебаний нитяного маятника. Если в маятнике использовать магнитный подвес (см. рис. 57), то маятник будет колебаться до 20 мин. Если такой маятник поместить под колокол воздушного насоса и откачать воздух, маятник будет колебаться весь урок.

Вариант В. Эффектный и весьма интересный для учащихся опыт можно поставить с маятником Максвелла (рис. 71). Чтобы опыт прошел удачно, маятник надо подвесить так, чтобы его ось была строго горизонтальна. Установив ось строго горизонтально, середину нити над стержнем штатива тем или иным способом закрепляют (например, изоляционной лентой). После того как нить отрегулирована и закреплена, вращая ось обеими руками, накручивают на нее нити. Опустив маятник, наблюдают «падение» и подъем диска.



Опыт 42. Изменение механической энергии при совершении работы

Цель опыта. Помочь учащимся понять, что в условиях любого реального опыта изменение механической энергии всегда больше совершенной механической работы. Это связано с тем, что неизбежно (из-за наличия трения и сопротивления, а также из-за неупругих деформаций) часть энергии системы необратимо преобразуется во внутреннюю энергию системы. Следует заметить, что наличие в реальных системах сил трения и неупругих деформаций делает бессодержательной попытку «проверить» закон сохранения энергии в механических процессах и «доказать» на опыте, что изменение механической энергии системы равно механической работе.

Вариант А. Стальной шарик роняют на стальную плиту и наблюдают, что при каждом последующем отскоке от плиты шарик поднимается на меньшую высоту.

Вместо стального шарика можно взять шарик для игры в настольный теннис. Обсуждая опыт, объясняют, что наблюдаемое явление — результат действия сопротивления и неупругих деформаций. Следует подчеркнуть, что равенство между изменением механической энергии и совершенной работой можно было бы наблюдать лишь в идеальных условиях, т. е. при отсутствии сил трения и неупругих деформаций.

Вариант Б. К выводам, аналогичным описанным выше, можно прийти, наблюдая за колебаниями пружинного и нитяного маятника. Затухание колебаний свидетельствует о том, что часть энергии при колебаниях необратимо преобразуется во внутреннюю энергию.

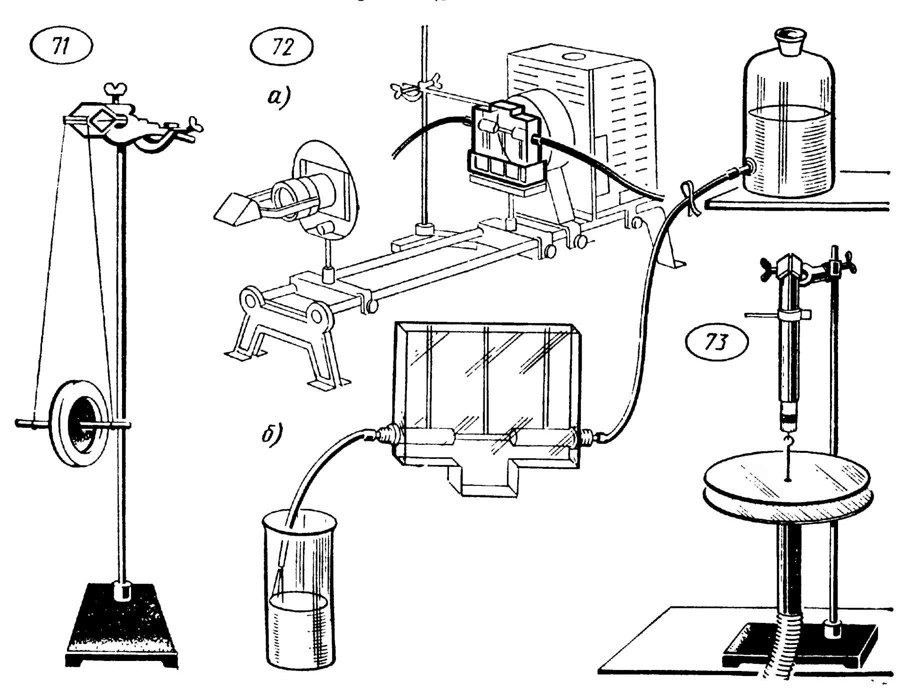
Опыт 43. Зависимость давления в жидкости и газе от скорости их течения

Цель опыта. Показать на опыте справедливость теоретически полученного соотношения.

1. Собирают установку, схема которой приведена на рисунке 72, *а*. Для проведения демонстрации модель трубы переменного сечения устанавливают перед конденсором проекционного аппарата, на объективе которого укреплена оборотная призма или зеркало. (В последние годы выпускаются объективы со встроенной в них оборотной призмой.) Включив проекционный аппарат, медленно открывают винтовой зажим и наблюдают за движением воды по трубке переменного сечения. Затем обращают внимание учащихся на уровень воды в манометрических трубках. Продолжая открывать зажим, добиваются наиболее выразительной картины на экране.

Для большей выразительности воду, используемую в опыте, следует слегка подкрасить. Для успеха опыта важно подобрать выходное отверстие, через которое вода стекает в приемную кювету. Это отверстие регулируется до урока винтовым зажимом.

2. На шланге воздуходувки закрепляют фанерный диск, который для этой цели имеет специальный вырез. Закрепляют на штативе трубчатый динамометр, к его крючку подвешивают такой же фанерный диск, но без выреза (рис. 73). Замечают показания ди-



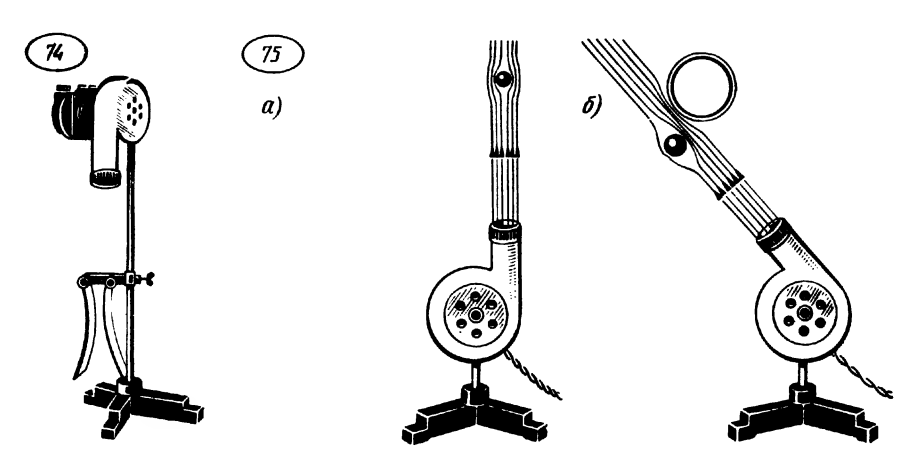
намометра, включают воздуходувку и, к удивлению учащихся, обнаруживают не уменьшение, а увеличение показаний динамометра, т. е., вопреки здравому смыслу, подвижный фанерный диск движется не вверх под напором потока воздуха, а вниз.

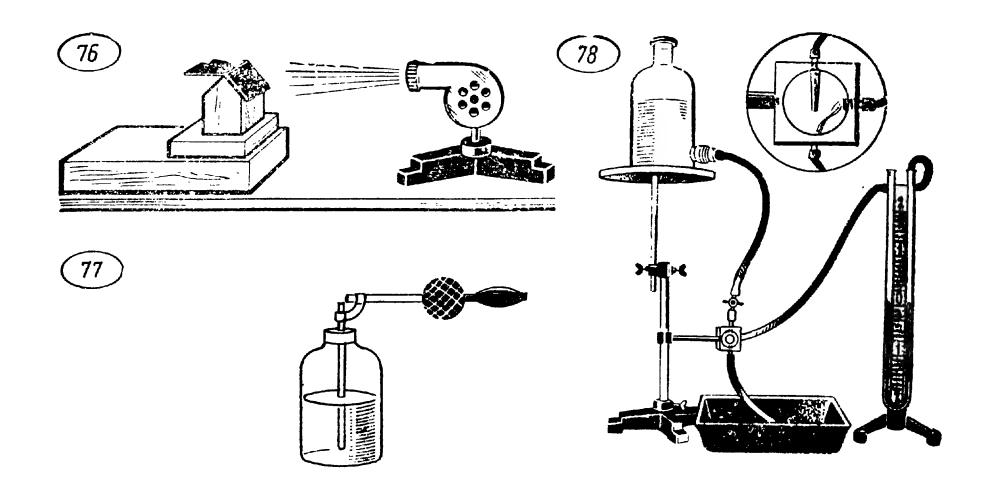
Объясняется это явление тем, что скорость потока воздуха, выходящего из воздуходувки и сужающегося между дисками, увеличивается. Увеличение скорости внутри потока ведет к уменьшению статического давления. Поэтому давление, действующее на диск с внутренней стороны, меньше атмосферного и диск опускается.

3. Две изогнутые пластины из жести подвешивают на проволочной вилке (рис. 74). Размеры пластин примерно 220×80 мм, расстояние между пластинами около 40 мм.

С помощью воздуходувки или бытового пылесоса направляют поток воздуха в промежуток между пластинами. Обычно ожидают расхождение пластин. Однако пластины сближаются. Поток воздуха сужается благодаря пластинам, изогнутым внутрь. В месте сужения статическое давление понижается. С наружной стороны на пластины действует более высокое атмосферное давление, и пластины движутся навстречу друг другу до соприкосновения. При соединении пластин поток воздуха прерывается, и они снова расходятся. Теперь воздух опять протекает между ними, и пластины вновь соединяются. Эта установка представляет собой автоматический прерыватель воздушного потока.

4. Струю воздуха от воздуходувки направляют вертикально вверх и вносят в нее шарик для игры в настольный теннис. Шарик парит в струе (рис. 75, *а*). Не меняя вертикального положения воздуходувки, перемещают ее параллельно первоначальному положению. Шарик также перемещается за струей воздуха. Изобразив на доске рисунок, аналогичный рисунку 75, *а*, объясняют наблюдаемое явление. Медленно наклоняя воздуходувку, наблюдают, что и в этом случае шарик движется (до определенного момента) за струей (рис. 75, *б*). Для демонстрации опыта можно использо-





вать обычный бытовой пылесос. Шланг надо присоединить к выходному отверстию пылесоса.

5. На макет дома устанавливают картонную крышу, прибитую гвоздями лишь у конька. Обдувая макет дома, наблюдают, что дальняя от воздуходувки часть крыши приподнимается и располагается почти горизонтально(рис. 76). Аналогичное явление при сильных потоках ветра происходит и в жизни.

Опыт 44. Устройство и действие пульверизатора, водоструйного насоса и карбюратора

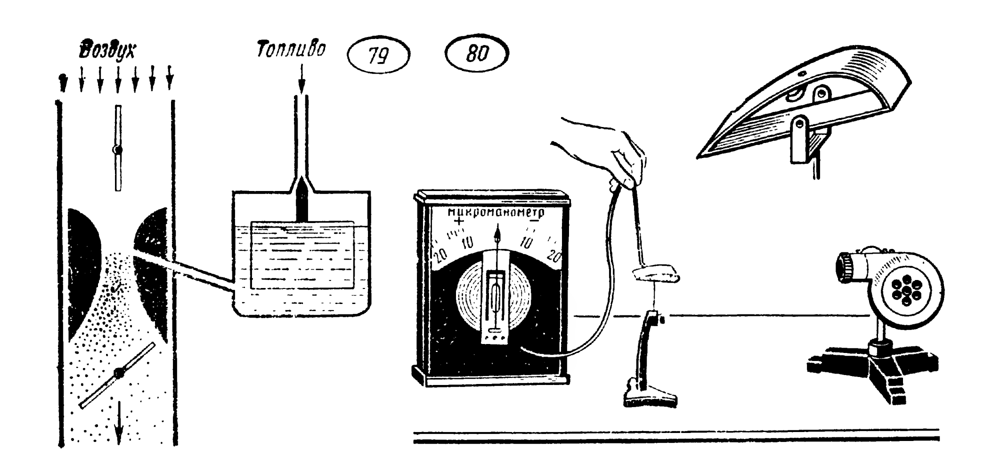
Цель опыта. Помочь понять учащимся принцип устройства и действия одного бытового (пульверизатор) и одного технического (насос) устройств, в которых нашла применение зависимость давления в жидкости и газе от скорости их течения.

1. Собрав установку, показанную на рисунке 77, продувают воздух с помощью воздуходувки или бытового пылесоса или так, как показано на рисунке. Для лучшей видимости распыленной струи воду в сосуде надо подкрасить раствором хвойного концентрата, который при освещении люминесцирует, а струю подсветить со стороны класса осветителем для теневой проекции (на рисунке осветитель не показан).

2. Объяснив устройство модели насоса, собирают установку, изображенную на рисунке 78. Открыв кран, наблюдают, что манометр показывает уменьшение давления, что свидетельствует об отсосе воздуха.

3. Устройство карбюратора проще всего объяснить с помощью рисунка на доске, не указывая тех деталей, которые несущественны для понимания его устройства и принципа работы (рис. 79).

На этой схеме выделены поплавковая и смесительная камеры. В поплавковой камере показаны пустотельный латунный поплавок и игольчатый клапан, в смесительной — жиклер, диффузор, дроссельная и воздушная заслонки.



Задачей поплавковой камеры является поддержание постоянного уровня бензина в жиклере, а смесительной — распыление и смешение распыленного бензина с воздухом в строго заданном отношении. Для характеристики распределения скоростей движения воздуха в смесительной камере на таблице изображены линии тока, которые проведены ближе друг к другу там, где больше скорость движения газового потока.

Опыт 45. Подъемная сила крыла самолета

Цель опыта. Показать, что в результате обтекания воздухом крыла несимметричной формы давление воздуха на крыло снизу больше, чем сверху. В результате на крыло действует подъемная сила.

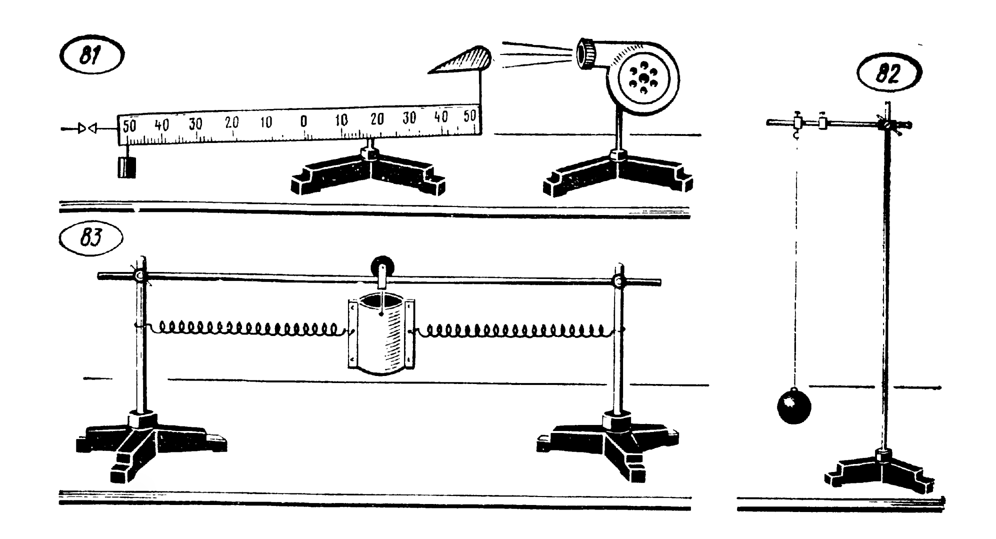
1. Для демонстрации разности давлений между нижней и верхней поверхностями крыла следует изготовить из белой жести модель части крыла самолета, к верхней и нижней поверхностям которого припаяны медные трубки диаметром 5—6 мм и длиной 30—40 мм (рис. 80).

Собрав установку, демонстрируют, что при обдуве крыла струей воздуха давление на нижнюю поверхность больше, чем на верхнюю.

2. Собирают установку, показанную на рисунке 81. Демонстрируют, что рычаг с моделью крыла самолета уравновешен противовесом. Включив воздуходувку, наблюдают, что рычаг с укрепленным на нем крылом самолета выходит из состояния равновесия. Для приведения рычага в равновесие на правую часть рычага подвешивают (ближе к опоре) специально подобранный груз.

§ 10. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Для глубокого изучения явлений, предусмотренных программой раздела «Механические колебания и волны», необходимо не только достаточно хорошее знание математики (в первую очередь триго-



нометрии), но и свободное владение этим математическим аппаратом.

Кроме того, следует иметь в виду, что математические соотношения, несложные сами по себе, обладают тем неприятным при обучении свойством, что способны заслонить от учеников физическую сущность изучаемых явлений.

Выход из создавшегося положения, по-видимому, надо искать в увеличении удельного веса учебного эксперимента. Демонстрационные опыты, тщательно и выразительно поставленные, на этой стадии изучения колебательных и волновых явлений могут выступать не только в роли источника информации, но и в качестве доказательства правильности объяснения изучаемых явлений.

Опыт 46. Примеры колебательных движений

Цель опыта. Показать учащимся примеры колебательного движения. Из анализа показанных опытов сделать выводы об основных свойствах колебательных систем.

Понятие колебательной системы существенно важно для последующего изучения колебательных и волновых процессов. Демонстрируют колебания массивного маятника (рис. 82). Не останавливая колебаний маятника, показывают колебание пружинного маятника (рис. 83), крутильного маятника (рис. 84), плоской пружины, зажатой в тисках (рис. 85), поплавка в цилиндре с водой (рис. 86) (*1* — стеклянная трубка, *2* — железные опилки).

После этих наблюдений вводят понятие о колебательной системе как о системе тел, в которых под действием внешнего толчка возникают и некоторое время без воздействия внешних сил существуют колебания.

Отмечается, что всем колебательным системам присущ ряд общих свойств: а) есть состояние устойчивого равновесия; б) пос-

ле того как система выведена из состояния устойчивого равновесия, появляется сила, возвращающая систему в это состояние; в) помимо возвращающей силы, есть еще фактор, не позволяющий системе сразу же остановиться в устойчивом состоянии, — инертность колеблющегося тела.

Опыт 47. Осциллограмма колебаний

Цель опыта. Показать учащимся способ записи осциллограммы колебаний. На основе полученной в ходе опыта осциллограммы показать ее отличие от графика.

Понятие осциллограммы проще и лучше всего ввести на примере колебаний маятника. Для этого собирают установку, изображенную на рисунке 87. Объясняют учащимся, что двойной подвес обеспечивает постоянство плоскости качания маятника. Сообщают, что для равномерного движения бумажной ленты используется электродвигатель с постоянным числом оборотов. На классной доске рисуют схему устройства для движения бумажной ленты (см. рис. 87, *а*).

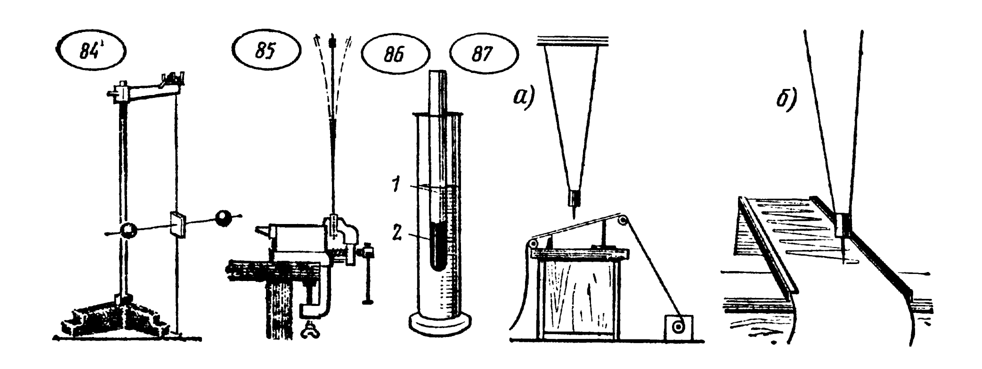
Отводят тело маятника от положения равновесия на 8—10 см в плоскости его качания и привязывают к стержню универсального штатива. Устраняют возможные колебания маятника и, подставив под него большую кювету, в цилиндр для записи наливают чернила.

Включив двигатель, пережигают нить, удерживающую маятник в отведенном состоянии. Снимают кювету. В конце записи подставляют под маятник кювету, выключают двигатель и останавливают маятник.

Выразительность записи в основном зависит от согласования скорости движения ленты с периодом колебания маятника, а также от интенсивности струи чернил и качества бумаги.

Хорошая осциллограмма получается, если подвесить маятник к потолочной балке ($l \approx 2$ м) и на валу двигателя применить шкив диаметром 15—20 мм (при частоте вращения $33^1/_3$ об/мин).

Наклон направляющего устройства с бумажной лентой в сторону класса делает процесс записи легко наблюдаемым. Однако



угол наклона не должен превосходить 30° (при большем угле наклона чернила будут стекать по бумаге и осциллограмма будет испорчена).

После записи колебаний бумажную ленту снимают с направляющего устройства, укрепляют на классной доске, и с ней проводится дальнейшая работа.

Заменив обычный маятник пружинным маятником с таким же примерно периодом колебаний, повторяют запись осциллограммы (рис. 88).

Опыт 48. Преобразование энергии в процессе свободных колебаний

Цель опыта. Конкретизировать, сделать более наглядными и доступными для учащихся преобразования энергии в колебательных системах. Попутно показать, что для возникновения в колебательной системе свободных колебаний необходим внешний толчок, в результате которого колебательной системе сообщается порция энергии.

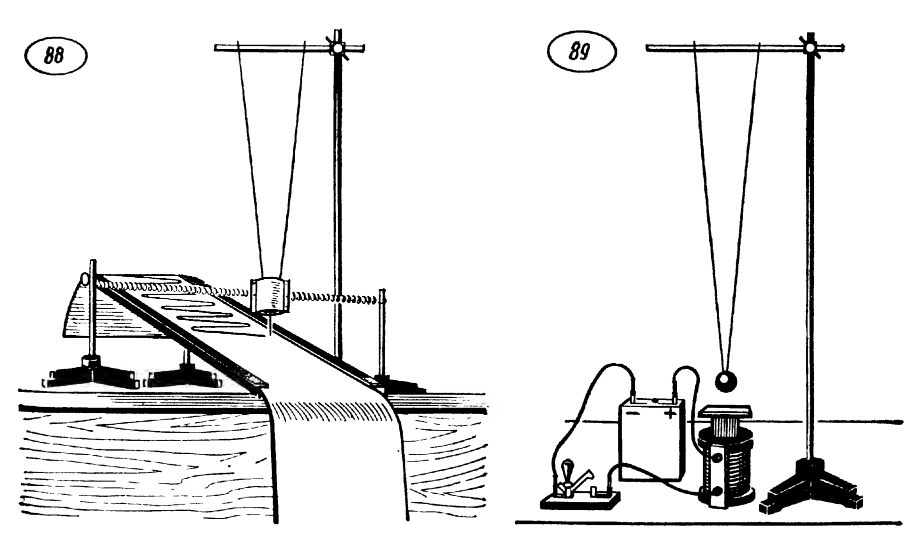
Вариант А. Отведя маятник от положения равновесия, обращают внимание учащихся на то, что в этом случае колебательной системе сообщается дополнительная потенциальная энергия E_p, система выводится из устойчивого состояния.

Наблюдая колебания маятника, обращают внимание учащихся на превращение энергии в колебательной системе:

$$E_p \to E_k \to E_p \to E_k \to E_p \to E_k \to E_p \ldots$$

Максимального значения потенциальная энергия маятника достигает в крайних положениях, когда его высота над уровнем равновесия максимальна:

$$E_{p\max} = mgH_{\max} \cdot$$



Максимального значения кинетическая энергия маятника достигает в среднем положении, когда его скорость максимальна:

$$E_{k\max}=\frac{mv^2_{\max}}{2}.$$

При отсутствии трения

$$v^2_{\max}=2gH_{\max};$$

поэтому

$$E_{k\max}=\frac{m}{2}\cdot 2gH_{\max}=mgH_{\max}.$$

Таким образом, при отсутствии сил трения максимальное значение потенциальной энергии равно максимальному значению кинетической энергии:

$$mgH_{\max}=\frac{mv^2_{\max}}{2}.$$

Остановив маятник, ударяют по нему молотком и наблюдают свободные колебания и в этом случае. Затем делают вывод, что свободные колебания в системе возникают в результате внешнего воздействия на систему, в результате которого система выходит из состояния устойчивого равновесия.

Вариант Б. Повторяют описанный выше опыт с пружинным маятником. Устанавливают, что в этом случае имеет место аналогичное преобразование энергии.

Записывают, что максимальное значение кинетической энергии при отсутствии трения равно максимальному значению потенциальной энергии системы:

$$\frac{mv^2_{\max}}{2}=\frac{kX^2_{\max}}{2}.$$

Опыт 49. Амплитуда свободных колебаний

Цель опыта. Показать, что амплитуда свободных колебаний определяется энергией, сообщенной колебательной системе извне.

Повторяя опыт 48, меняют начальное положение маятников (тем самым меняют сообщенную колебательной системе энергию).

На основании проделанных опытов делают вывод, что амплитуда свободных колебаний определяется энергией, сообщенной колебательной системе извне.

Опыт 50. Частота и период свободных колебаний

Цель опыта. Создать экспериментальные предпосылки для вывода формул периода и частоты колебаний маятника. Проиллюстрировать на опыте проявление найденных теоретически соотношений.

Вариант А. Тяжелый (массивный) маятник, описанный в опыте 42, отводят от положения равновесия и замечают время,

в течение которого происходят 10 колебаний. Вычислив значение периода, записывают его на доске.

Приведя маятник в движение по кругу(конический маятник), замечают время, необходимое на 10 оборотов маятника. Вычисляют период обращения маятника и результат записывают на доске.

Обратив внимание на равенство периодов, объясняют, что это совпадение не случайно: в обоих случаях маятник движется под действием одних и тех же сил — силы тяжести и силы реакции нити.

Результаты опыта дают основание для вывода формулы периода колебаний маятника:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Вариант Б. Справедливость полученной формулы иллюстрируют опытами. Два маятника одинаковой длины, но разной массы отводят с помощью дощечки на одинаковые углы и одновременно отпускают.

Маятники колеблются с одинаковой частотой, что свидетельствует о независимости частоты колебаний от массы маятника. Для демонстрации этого опыта удобны маятники одинакового объема, но изготовленные из разных материалов, например один из стали, другой из дерева или пенопласта.

Остановив маятник с большей массой, изменяют заметно его длину и замечают изменения частоты колебаний.

Для демонстрации зависимости частоты от ускорения свободного падения располагают под маятником электромагнит (рис. 89). Отводят маятник в сторону и затем одновременно включают секундомер и отпускают маятник. Отсчитывают 10—20 колебаний и, заметив время, определяют частоту колебаний ν_1. Повторяют опыт с включенным электромагнитом и вновь определяют частоту ν_2, которая оказывается больше частоты колебаний ν_1.

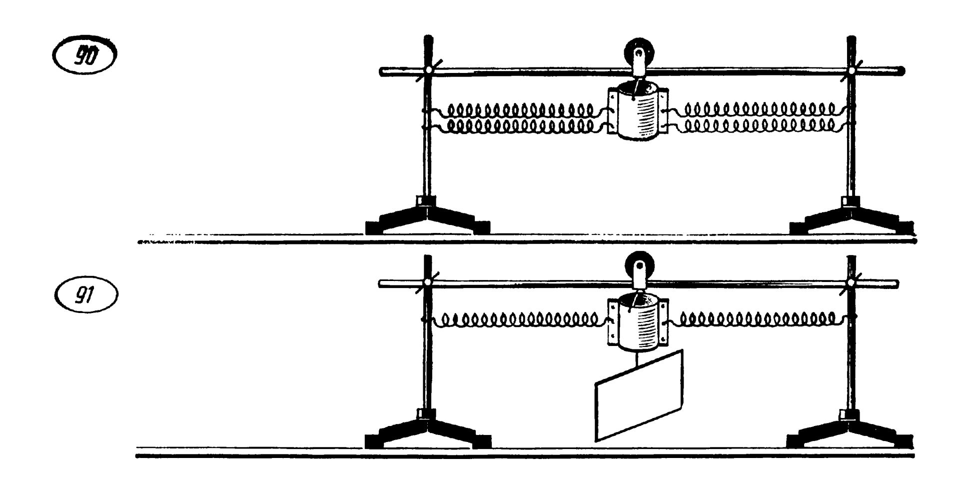
Для успеха опыта важно, чтобы амплитуда колебаний была небольшой.

Опыт 51. Период колебаний пружинного маятника

Цель опыта. Показать зависимость периода колебаний пружинного маятника от его массы и жесткости пружины.

Собирают установку, изображенную на рисунке 83. Отведя пустой стакан маятника от положения равновесия, предоставляют ему возможность совершать свободные колебания. Определяют время, в течение которого происходят 10 полных колебаний, и вычисляют период.

Затем в стакан маятника помещают груз, масса которого больше массы стакана маятника в 3 раза. Вновь определяют время, необходимое для 10 колебаний, и период. Оказывается, что период колебаний маятника увеличился в 2 раза.



Увеличивают массу маятника по сравнению с первоначальной в 9 раз и замечают, что период колебаний увеличился в 3 раза.

Опыт дает основание утверждать, что период колебаний пружинного маятника зависит от массы маятника. Кроме того, можно предположить, что период колебаний прямо пропорционален корню квадратному из его массы. Записывают на доске:

$$\text{при} \quad k=\text{const} \quad T \sim \sqrt{m}.$$

Оставив массу маятника неизменной, увеличивают жесткость колебательной системы в 2 раза. Для этого параллельно подключают еще две такие же пружины (рис. 90). Замечают, что период колебаний маятника стал меньше. Присоединив еще одну пару пружин, замечают, что период колебаний вновь уменьшился.

На доске записывают:

$$\text{при} \quad m=\text{const} \quad T \sim \frac{1}{k^x}.$$

Объясняют, что опыт не дает оснований для определения показателя степени у жесткости системы.

После демонстрации опыта, в процессе обсуждения его результатов, полезно провести следующий ориентировочный расчет периода колебаний пружинного маятника.

Очевидно, что период колебаний маятника

$$T=4t,$$

где t — время отклонения маятника от положения равновесия до крайнего положения (или, наоборот, время возвращения маятника из крайнего положения в положение равновесия). Очевидно также, что

$$t=\frac{x_{\max}}{v_{\text{ср}}}.$$

Объясняют учащимся, что движение маятника происходит под действием силы упругости $f=-kx$, которая непрерывно изменяется, а потому непрерывно изменяется и ускорение маятника. Следовательно, движение маятника не равнопеременное, а потому найти точное значение средней скорости (из-за недостатка математических знаний учащихся) пока нельзя.

Далее рассуждают так: если бы движение маятника было равнопеременным, то значение средней скорости его движения на рассматриваемом участке было бы $\frac{v_{max}}{2}$. Записывают на доске:

$$v_{cp} \approx \frac{v_{max}}{2} \quad (!?).$$

Знаки восклицания и вопроса подчеркивают некорректность сделанного предположения.

Таким образом, $t=\frac{x_{max}}{v_{cp}} \approx \frac{2x_{max}}{v_{max}}$, а $T=8\frac{x_{max}}{v_{max}}$.

Максимальное значение скорости легко найти из равенства максимального значения потенциальной и кинетической энергий маятника: $\frac{kx^2_{max}}{2}=\frac{mv^2_{max}}{2}$. Откуда $v_{max}=\sqrt{\frac{k}{m}}$.

Таким образом,

$$T \approx 8\frac{x_{max}}{v_{max}}=8\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Подчеркивают, что полученное соотношение, хотя и является приближенным, правильно показывает зависимость периода от массы и жесткости. Сообщают, что точная формула имеет следующий вид:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

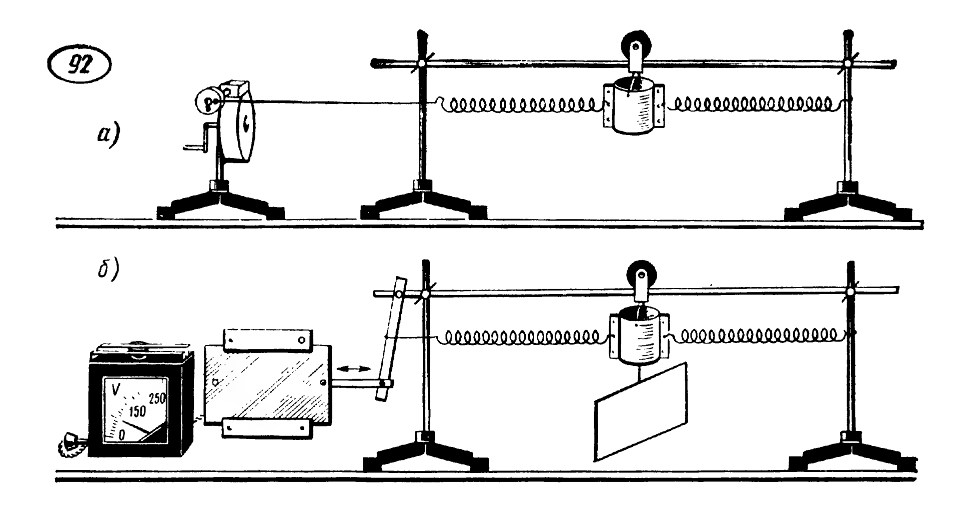
Еще раз объясняют, что при грубой оценке была допущена погрешность при определении средней скорости, в действительности

$$v_{cp}=\frac{v_{max}}{\pi/2}=\frac{v_{max}}{1{,}57}; \text{ а не } v_{cp}=\frac{v_{max}}{2}.$$

Опыт 52. Затухание свободных колебаний

Цель опыта. Показать затухание колебаний в реальных колебательных системах.

Маятник отводят в сторону и наблюдают его колебания. Отмечают, что колебания маятника затухают. Выясняют причины затухания. Изменив трение (для этого к маятнику прикрепляют демпфер, изображенный на рисунке 91), вновь наблюдают коле-



бания маятника и убеждаются в справедливости сделанного вывода.

Устанавливают устройство для записи осциллограммы колебаний маятника. Включив двигатель лентопротяжного устройства, записывают осциллограмму колебаний маятника.

Опыт 53. Примеры вынужденных колебаний

Цель опытов. Создать у учащихся первоначальные представления о вынужденных колебаниях; показать, что вынужденные колебания в колебательных системах возникают в результате непрерывного действия на систему периодической силы.

1. Пружинный маятник соединяют с вибратором так, как это показано на рисунке 92. Включив вибратор, наблюдают вынужденные колебания маятника.

2. Устанавливают стальную пластину около электромагнита, питаемого переменным током от звукового генератора (рис. 93).

Подобрав (до урока) необходимую длину пластины и частоту ее колебаний, включают звуковой генератор. Колебания пластины удобно наблюдать при малых частотах.

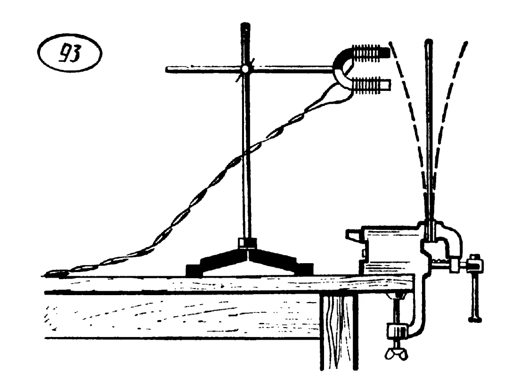
Опыт 54. Амплитуда вынужденных колебаний

Цель опыта. Показать учащимся, что амплитуда вынужденных колебаний зависит от амплитуды вынуждающей силы, трения системы и частоты вынуждающих колебаний.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 92, *а*. Включив вибратор, наблюдают вынужденные колебания маятника. Пользуясь демонстрационной линейкой, определяют амплитуду вынужденных колебаний.

Увеличивают амплитуду вынуждающей силы (для этого изменяют расстояние пальца от оси) и замечают, что при этом увеличивается амплитуда вынужденных колебаний.

Еще больше увеличивают амплитуду вынуждающей силы и наблюдают дальнейшее увеличение амплитуды вынужденных колебаний.



Делают вывод, что амплитуда вынужденных колебаний зависит от амплитуды вынуждающих колебаний.

2. С помощью демпфера увеличивают трение. Учащиеся видят, что амплитуда колебаний уменьшается. Еще больше увеличив трение, наблюдают дальнейшее уменьшение амплитуды вынужденных колебаний. Делают вывод, что амплитуда вынужденных колебаний зависит от силы трения в системе.

3. Плавно меняют частоту вынуждающих колебаний и замечают, что амплитуда вынужденных колебаний сложным образом зависит от частоты: сначала с увеличением частоты вынуждающих колебаний амплитуда вынужденных колебаний растет, достигает некоторого максимального значения, а затем уменьшается. Делают вывод, что амплитуда вынужденных колебаний зависит от частоты вынуждающих колебаний.

Опыт 55. Частота установившихся вынужденных колебаний

Цель опыта. Показать, что частота установившихся вынужденных колебаний равна частоте вынуждающих колебаний.

Собрав установку, изображенную на рисунке 92, *а*, демонстрируют, что частота установившихся вынужденных колебаний всегда равна частоте вынуждающих колебаний.

Опыт 56. Явление резонанса

Цель опыта. Показать, что при совпадении частоты вынуждающих колебаний с частотой свободных колебаний системы амплитуда вынужденных колебаний растет и может достигнуть опасных значений.

Собирают установку, изображенную на рисунке 92, *а*. Отведя маятник от положения равновесия, дают ему возможность совершить несколько колебаний и по затраченному времени определяют его собственную частоту.

Включают вибратор и, меняя частоту его колебаний, добиваются максимальной амплитуды вынужденных колебаний. Определив частоту вынуждающих колебаний, обнаруживают, что она близка к собственной частоте колебаний маятника.

Делают вывод, что амплитуда вынужденных колебаний зависит от соотношения частот свободных и вынужденных колебаний. При равенстве частот амплитуда достигает максимального значения.

Опыт 57. Способы устранения резонансных колебаний

Цель опыта. Показать, как можно избежать резонансных колебаний.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 92. Включив вибратор, добиваются резонансных колебаний маятника. Обращают внимание на то, что эти колебания могут иметь разрушительный характер. Существуют различные способы борьбы с резонансом. Основной из них состоит в изменении частоты свободных колебаний системы, с тем чтобы она не совпадала с частотой вынуждающих колебаний. Для иллюстрации этого способа в стакан маятника помещают дополнительный груз и замечают, что амплитуда колебаний маятника резко уменьшается.

2. Другой способ заключается в увеличении трения системы. Вынув дополнительный груз из стакана маятника, вновь наблюдают резонансные колебания. Ввернув механический демпфер в рабочее положение, замечают уменьшение амплитуды вынужденных колебаний.

3. В некоторых случаях применяют специальные устройства для гашения резонансных колебаний. Представление об этом дает учащимся следующий опыт.

К пружинному маятнику с помощью винта прикрепляют стальную пластину, по которой может перемещаться груз (рис. 94). В нижнем положении груз и стальная пластина образуют колебательную систему, частота свободных колебаний которой равна частоте свободных колебаний пружинного маятника.

Подняв груз в верхнее положение, включают вибратор и, изменяя напряжение на двигателе вибратора, добиваются резонансных колебаний маятника. Не выключая вибратор и не изменяя частоту его колебаний, рукой останавливают маятник и опускают груз в нижнее положение. Отпустив маятник, наблюдают, что он почти не колеблется, а груз совершает колебания с изменяющейся амплитудой (биения).

Сообщают, что с помощью специальных поглотителей гасят механические резонансные колебания проводов на линиях электропередачи. Для этого к проводам линии вблизи опорных изоляторов прикрепляют небольшие подвески в форме гантелей.

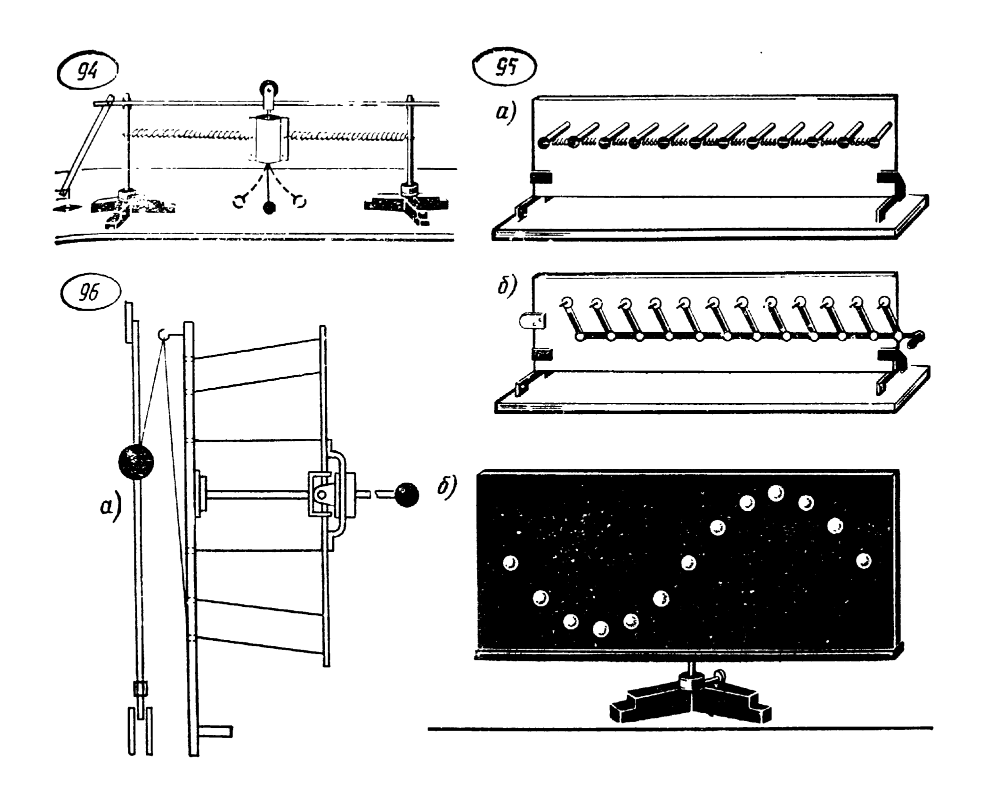
Опыт 58. Наблюдение поперечных волн

Изучая колебательное движение, учащиеся имели дело с изолированными колебательными системами. Однако большое значение имеют колебательные системы, связанные друг с другом. В этом случае колебания передаются от одной колебательной системы к другой. Это, в частности, имеет место при распространении волны.

Описанные опыты предназначены для введения первоначальных сведений о волнах и характеризующих их параметрах.

Цель опытов. Показать распространение колебаний в среде. Помочь учащимся понять механизмы образования волны.

1. Чтобы ввести понятие волны и объяснить, каким образом



механические колебания от одной колебательной системы передаются к другой, используют прибор, показанный на рисунке 95. В этом приборе к массивной раме прикреплены с помощью специальных зажимов 12 стальных пластин. К свободным концам этих пластин прикреплены металлические цилиндры диаметром 15 мм. В раму прибора вставлена панель с 12 отверстиями, сквозь которые проходят зажимы стальных пластин. Цилиндры хорошо видны на фоне панели.

Каждая стальная пластина с цилиндром является пружинным маятником с периодом колебаний, равным примерно 1 с. Все маятники соединены друг с другом специально подобранными пружинами, которые прикреплены к муфтам, надетым на массивные цилиндры. С помощью специального рычага пластины маятников могут поворачиваться на 90°. Благодаря наличию муфт, связывающих маятники, пружины не изменяют своего положения.

Отсоединив пружину от первого маятника, показывают, что он может колебаться в вертикальной плоскости. Затем этот маятник снова соединяют пружиной с остальными маятниками и повторяют опыт. В этом случае колебания от первого маятника передаются ко второму, от второго — к третьему и т. д. По системе маятников пробегает волна.

Обращают внимание учащихся на то, что направление колеба-

ний каждого маятника и направление распространения колебаний от маятника к маятнику взаимно перпендикулярны. На этом основании вводят понятие о поперечных волнах и о длине волны.

2. Для объяснения механизма образования волны полезно использовать макет «Волновая машина» (конструкция члена-корреспондента АПН СССР Б. С. Зворыкина).

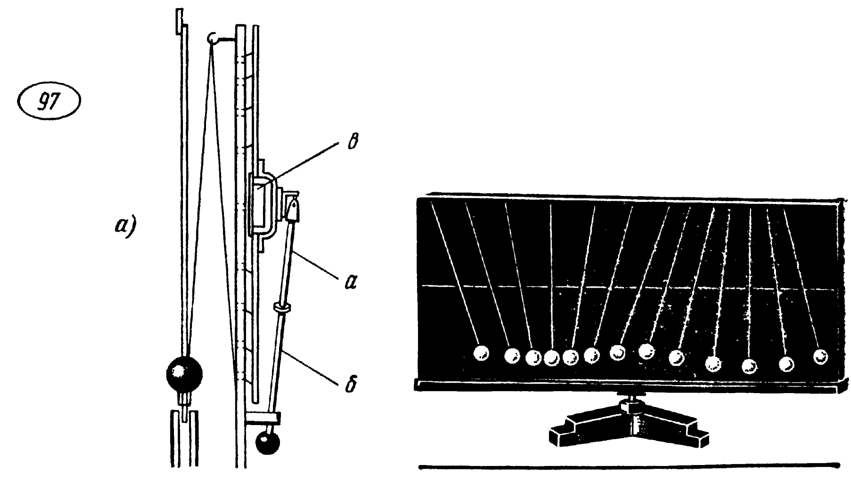
Диск волновой машины (рис. 96, *а* и 97, *а*) устанавливают для демонстрации поперечных волн. Для этого стержень *а* с шарниром ввинчивают в металлическое гнездо *в*, прикрепленное к щитку. Диск же оттягивают от щитка и насаживают центральным отверстием на винт шарнира, на который затем навинчивают рукоятку. При таком положении диска все шарики поднимаются на уровень белой линии, имеющейся на лицевой стороне щитка. (При этом муфты на спицах должны быть опущены.) Рукой вращают рукоятку *б* так, чтобы она описывала боковую поверхность конуса. При этом возникает непрерывный процесс распространения поперечной волны (рис. 96, *б*).

От направления вращения зависит направление распространения волн. Чтобы увеличить амплитуду колебаний, увеличивают радиус вращения рукоятки.

В процессе демонстрации обращают внимание на два различных явления: колебательное движение частиц и распространение колебательного движения. Оба эти движения взаимно перпендикулярны. Поэтому волны, в которых частицы среды колеблются перпендикулярно распространению волн, называют поперечными.

На опыте показывают, что за время полного колебания любой из частиц (период) колебательное движение распространяется на расстояние, равное длине волны.

Обращают также внимание на разность фаз колебаний отдельных частиц и дают понятие о длине волны как о расстоянии между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе.



Опыт 59. Наблюдение продольных волн

Цель опыта. Показать образование продольных волн и объяснить механизм их образования.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 95.

Повернув пластины маятников на 90°, повторяют опыт с той лишь разницей, что первый маятник заставляют колебаться в горизонтальной плоскости. Наблюдают образование сгущений и разрежений. Это наблюдение позволяет ввести понятие о продольной волне.

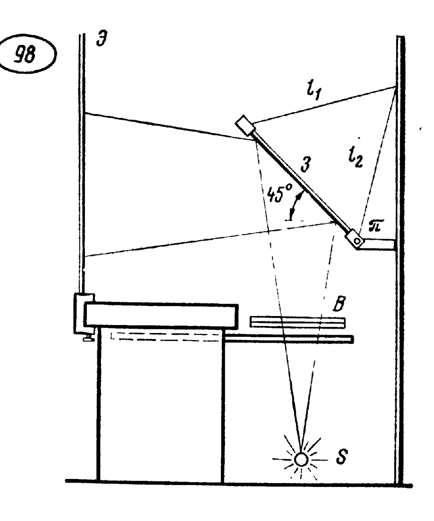
2. Представление о механизме образования продольной волны создают с помощью волновой машины. Для этого диск машины устанавливают в положение, изображенное на рисунке 97, *а*. В этом случае шарики опускаются к нижней планке прибора. Взявшись за ручку нитяного зажима, вращают ее по окружности, начерченной на щитке. При этом маятники с шариками совершают колебательное движение и создают картину распространения продольных волн (рис. 97, *б*).

Опыт 60. Волны на поверхности воды

Цель опыта. Показать распространение волн, образовавшихся на поверхности воды. Познакомить учащихся с методом получения и изучения поверхностных волн.

Хорошее качество демонстрации волн на поверхности воды обеспечивает схема, показанная на рисунке 98. Волновую ванну *В* устанавливают на выдвигаемые из стола брусья. Световой поток от осветителя *S*, пройдя через ванну, падает на плоское зеркало *З*, установленное под углом 45° к горизонту, и отражается на просветный экран.

Экран изготавливают так. Концы полотнища кальки длиной примерно 2 м приклеивают к двум рейкам диаметром 10 мм. После того как засохнет клей, кальку наматывают в 3—4 слоя на рейку. Образовавшийся «транспарант» вставляют в струбцины от универсального штатива, привернутые к демонстрационному столу, и закрепляют. Освободив одну из струбцин, затягивают нижний конец экрана, а затем натягивают верхний конец экрана с помощью распорки.



Качество демонстрации в значительной мере зависит от работы вибратора. С помощью вибратора, прилагаемого к ванне, нельзя обеспечить высокое качество всех демонстраций, так как амплитуда колебаний вибратора быстро уменьшается. Поэтому целесообразно изготовить вибратор,

работающий от электродвигателя. Такой вибратор обеспечивает постоянную амплитуду колебаний, а частоту можно регулировать в широких пределах.

На выразительность опытов с волновой ванной существенное влияние оказывает толщина водяного слоя и глубина погружения насадки вибратора. Толщина слоя воды должна быть 5—6 мм, а насадка при колебании не должна касаться дна при опускании вниз и отрываться от воды при подъеме вверх.

Установка для демонстрации волн на поверхности воды должна собираться до урока, но воду в ванну необходимо наливать на уроке. Так как в некипяченой воде на дне ванны появляются пузырьки, ухудшающие видимость демонстрируемых явлений, лучше использовать кипяченую воду.

Хорошее качество демонстрации получается при использовании непрозрачной ванны. В этом случае на дно ванны надо положить грубую ткань из стекловолокна (можно использовать грубую мешковину). На ткань кладется зеркало, поверх которого наливается вода.

Ванна освещается точечным источником света, расположенным спереди ванны на высоте 50—60 см над демонстрационным столом. Передвигая осветитель, добиваются, чтобы на наклонном экране получалось изображение освещенного дна ванны с минимальными искажениями.

На уроке, посвященном изучению свойств волн, объясняют схему установки и, включив источник света, возбуждают карандашом одиночный цуг волн. Затем включают вибратор и наблюдают картину бегущих волн.

Проведенные наблюдения позволяют ввести понятия фронта волны, луча и фазовой скорости волны, которую определяют как скорость перемещения фронта волны.

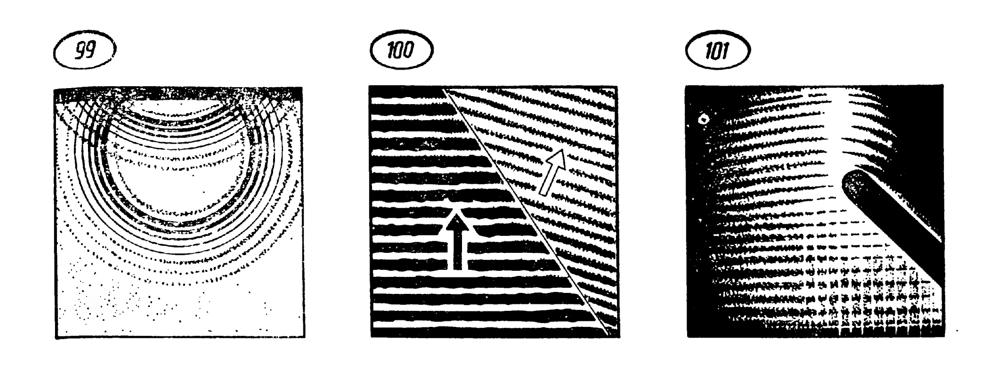
Опыт 61. Отражение поверхностных волн

Цель опыта. Показать отражение поверхностных волн на границе двух сред.

Собирают установку с волновой ванной. Поместив в ванне «непрозрачное» для волн препятствие, например деревянный брусок, возбуждают одиночный цуг волн. Наблюдают, что волны, дойдя до препятствия, отражаются (рис. 99).

На дно ванны помещают толстое, желательно слегка окрашенное стекло, размер которого примерно равен половине прозрачной части ванны. Возбудив одиночный цуг волн, наблюдают, что граница между глубоким и мелким местами волны частично проходит, а частично отражается (рис. 100).

Вынимают из ванны стекло и вновь ставят препятствие. Возбудив с помощью вибратора плоские волны, наблюдают их отражение (рис. 101). Меняя угол падения волн, наблюдают и изменение угла отражения. Схемы проведенных опытов зарисовывают на доске.



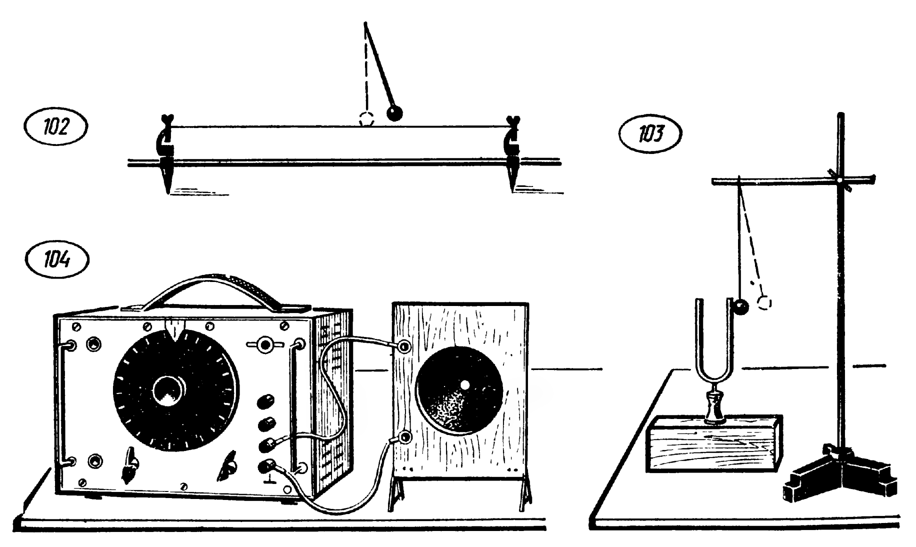
Опыт 62. Источники звука

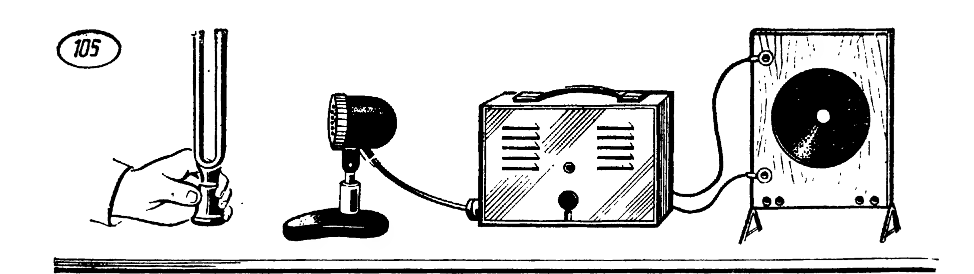
Цель опыта. Показать, что источником звуков являются колеблющиеся тела, а также познакомить учащихся с наиболее характерными источниками звуков.

1. Заставив струну гитары колебаться, слушают издаваемый ею звук. Если нет гитары, можно гитарную струну натянуть на стержень штатива (рис. 102). Поднеся к колеблющейся струне подвешенный на нити шарик для игры в настольный теннис, наблюдают его отскоки от струны. Опыт свидетельствует о том, что звучащее тело (струна) колеблется.

Опыт полезно повторить, используя в качестве колеблющегося тела камертон (рис. 103).

2. Собирают установку, изображенную на рисунке 104. Объясняют, что громкоговоритель подключен к источнику переменного тока низкой частоты. (Если в кабинете физики нет генератора звуковой частоты, можно воспользоваться любым радиоприемником.)





Сообщают, что такой источник тока называют генератором звуковой частоты.

Включив генератор звуковой частоты, установленный на низкой частоте, слушают звуки. Поднеся к диффузору громкоговорителя шарик для игры в настольный теннис, подвешенный на нити, наблюдают отскоки шарика. Опыт свидетельствует, что звучащее тело колеблется.

3. Полезно показать, что излучение звуков колеблющимся телом зависит от площади колеблющейся поверхности. Для этого легким ударом молоточка возбуждают колебания камертона. Ничего не слышно. Приложив камертон к крышке или стенке демонстрационного стола, слышат громкие звуки. Опыт свидетельствует, что излучение колеблющегося тела зависит от площади колеблющейся поверхности.

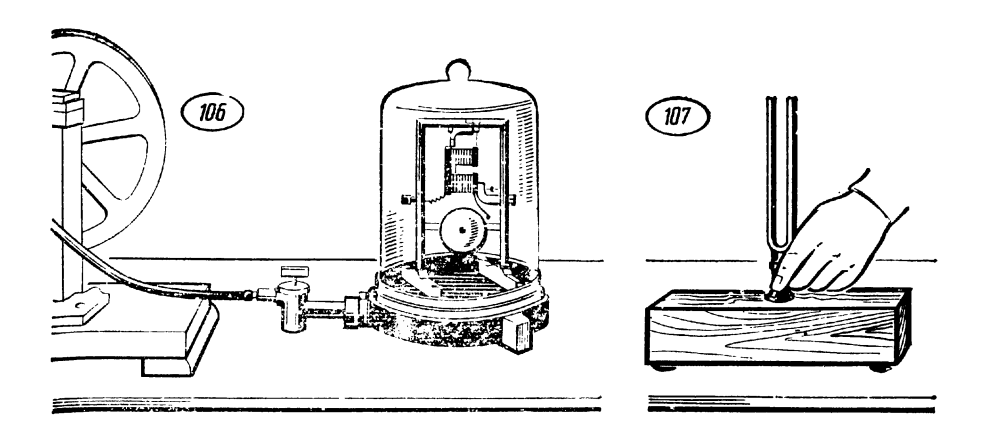
Опыт 63. Приемники звука

Цель опыта. Познакомить учащихся с естественным приемником звука — ухом и микрофоном.

1. Рассказ о естественном приемнике звука — ухе следует завершить демонстрацией короткого кинофрагмента «Орган слуха человека», с которым (что вероятно) учащиеся знакомы из курса анатомии. Однако при просмотре кинофрагмента надо основное внимание уделить физическим процессам, происходящим в ухе. Если кинофрагмента в кабинете биологии нет, можно воспользоваться настенной таблицей или диапозитивом.

2. Напомнив учащимся устройство микрофона, следует сказать, что преобразуемая микрофоном энергия очень мала. Поэтому улавливаемые микрофоном сигналы слабы и их усиливают с помощью специальных устройств — усилителей. При выключенном усилителе демонстрируют, что звуки, излучаемые камертоном «ля», очень слабы. Собрав установку, изображенную на рисунке 105, включают усилитель и демонстрируют, что микрофон воспринимает колебания камертона. Эти колебания преобразуются в электрические колебания и после усиления воспроизводятся громкоговорителем.

Полезно показать, что микрофон обладает определенной направленностью в восприятии звуков. Для этого звучащий камер-



тон следует пронести перед микрофоном слева направо и обратно. При этом хорошо заметно изменение громкости звучания громкоговорителя.

Опыт 64. Необходимость упругой среды для передачи звуковых колебаний

Цель опыта. Показать, что для распространения звуковых колебаний необходима упругая среда.

Под колокол воздушного насоса помещают работающую демонстрационную модель электрического звонка (рис. 106) или громкозвучащий карманный приемник. Учащиеся хорошо слышат звучание звонка (или радиоприемника). По мере выкачивания воздуха из-под колокола замечают, что звучание звонка становится тише и тише и наконец совсем почти прекращается. Закрыв кран, снимают резиновый шланг с нипеля насоса. Открыв кран, вновь слышат громкое звучание звонка (или радиоприемника).

Для успешной постановки опыта тарелку для воздушного колокола и сам звонок надо поставить на толстые поролоновые прокладки (например, на поролоновые губки). В этом случае колебания звонка практически не передаются тарелке и демонстрационному столу.

Опыт 65. Звуковой резонанс

Цель опыта. Показать явление резонанса под действием звуковых волн, излучаемых колеблющимся телом.

Вариант А. Камертон, снятый с резонаторного ящика, ударом молоточка приводят в колебание. Учащиеся (за исключением близко сидящих от демонстрационного стола) не слышат колебаний камертона.

Повторяют опыт и подносят камертон к резонатору (рис. 107). Весь класс отчетливо слышит звуки, издаваемые камертоном. Для объяснения опыта повторяют опыт с неградуированным стеклянным цилиндром вместимостью 1000 мл. При поднесении камерто-

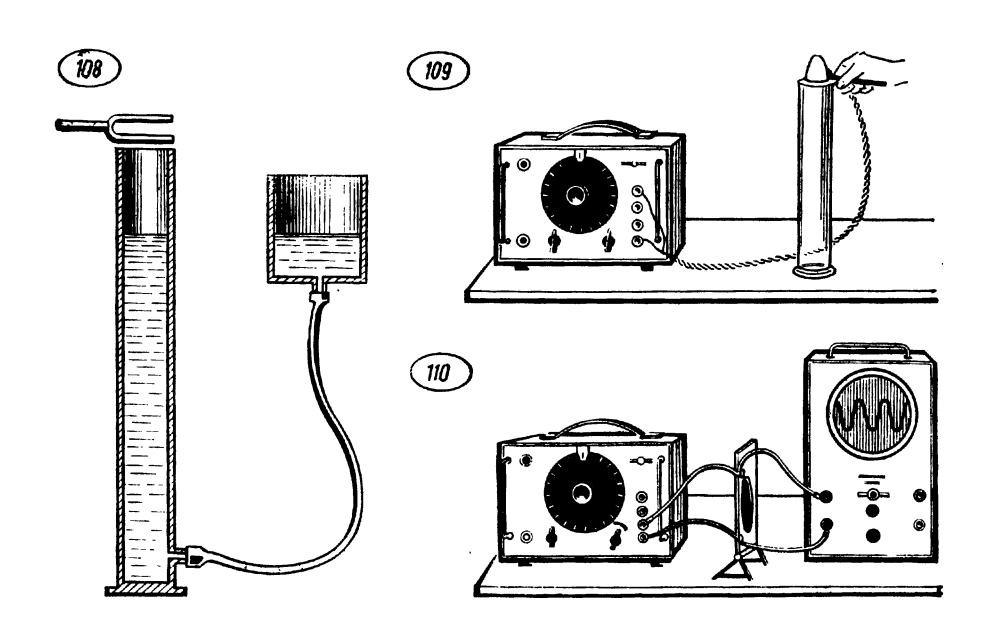
на к цилиндру не слышно звучаний камертона. Просят одного из учеников постепенно наполнять цилиндр водой (рис. 108) и вновь повторяют опыт. Через некоторое время слышен звук, издаваемый камертоном. Прекратив наполнение цилиндра водой, повторяют опыт. Слышен достаточно громкий звук, который слабеет по мере наполнения цилиндра водой и наконец совсем исчезает. Еще раз возбуждают камертон, но звука нет. Отлив из цилиндра воду, повторяют опыт. Вновь слышен звук.

Для успеха опыта надо до урока тщательно определить объем воды, необходимой для наступления резонанса, и сделать на цилиндре небольшую (незаметную для учащихся) заметку.

Вариант Б. Собирают установку, изображенную на рисунке 109. При включении генератора звуковой частоты, установленного на частоте 20 Гц, звука не слышно. Плавно изменяя частоту, обнаруживают, что при какой-то частоте ν «появляется» звук. Медленно меняя частоту, слышат все более громкий звук. Замечают эту частоту. Продолжая изменять частоту, замечают сначала ослабление звука, а затем и его исчезновение. Уменьшая частоту до замеченной на первой стадии опыта, вновь слышат громкий звук.

Не меняя частоту вынуждающих колебаний, наливают постепенно воду. Замечают постепенное ослабление, а затем и полное исчезновение звука.

Наблюдаемые на опытах факты легко объяснить явлением резонанса воздушного столба.



Опыт 66. Характеристики звука

Цель опыта. Объяснить, опираясь на опыты, такие характеристики звука, как громкость и высота тона.

Вариант А. Собирают установку, изображенную на рисунке 110. Включив звуковой генератор, демонстрируют, что высота тона зависит от частоты колебаний. О высоте тона судят по звуковому восприятию, а о частоте колебаний — по осциллограмме. Уменьшая напряжение выходного сигнала, демонстрируют изменение громкости звука. О громкости звучания судят по звуковому восприятию, а об амплитуде колебаний — по осциллограмме.

Вариант Б. Зажатую в настольных тисках ножовку по металлу приводят в колебание. Слышен звук. Увеличив амплитуду колебаний, замечают усиление звука.

Уменьшив длину свободной части ножовки, повторяют опыт. Слышен более высокий звук.

Увеличив длину колеблющейся части ножовки, повторяют опыт. Слышен более низкий звук. Об амплитуде и частоте колебаний судят по зрительному восприятию.

Раздел II
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Ниже описаны 27 демонстрационных опытов, постановка которых возможна в любом школьном кабинете физики.

Следует иметь в виду, что для успешной постановки большинства из описанных опытов, несмотря на их кажущуюся простоту, необходима тщательная, кропотливая подготовительная работа. Трудности обычно возникают в связи с необходимостью использовать несогласованные друг с другом приборы.

При постановке опытов, связанных с демонстрацией свойств газов, следует соблюдать следующие требования: 1) объем газа, исследуемого в ходе опыта, должен быть значительно больше объема газа в соединительных трубках и вспомогательных приборах. С этой целью соединительные трубки по возможности надо брать короткими и тонкими. В тех случаях, когда давление газа в соединительных трубках ниже атмосферного, внутрь трубки необходимо вставить проволочные спирали (например, от нагревательных приборов). 2) Особое внимание следует обратить на герметичность соединений и кранов. 3) Все применяемые в ходе опытов сосуды и соединительные трубки перед их использованием необходимо тщательно промыть и хорошо просушить.

§ 11. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Опыт 67. Оценка размеров и массы молекул

Цель опыта. Познакомить учащихся с одним из экспериментальных способов определения размеров молекул.

Несколько предварительных советов

1. Перед началом опыта следует рассказать учащимся, что молекулы имеют сложную форму. Если для простоты принять, что молекула имеет форму шара, то речь будет идти о ее диаметре, который можно определить, используя свойство маслянистых веществ растекаться по поверхности воды. Растекаясь по поверхности воды, маслянистые вещества образуют очень тонкую пленку, толщина которой приблизительно равна диаметру молекул маслянистого вещества.

Основная трудность при таком способе заключается в том, что надо взять очень мало маслянистого вещества. В противном случае оно покроет всю поверхность воды в несколько слоев молекул.

Так, одна капля олеиновой кислоты, растекаясь, может покрыть всю поверхность воды в крупном плавательном бассейне. Поэтому при постановке опыта нужно взять 0,5%-ный раствор олеиновой кислоты в спирте.

2. 0,5%-ный раствор олеиновой кислоты в спирте можно приготовить следующим образом. Олеиновую кислоту объемом 1 мл выливают в измерительный цилиндр, в который налит спирт объемом 19 мл, и тщательно перемешивают. Получается 5%-ный раствор олеиновой кислоты в спирте. Этот раствор объемом 1 мл смешивают со спиртом объемом 9 мл и получают 0,5%-ный раствор олеиновой кислоты в спирте, который следует хранить в закрытом пробкой сосуде. Раствор готовится до урока.

3. Для успешной постановки опыта до урока надо приготовить 2—3 л хорошо прокипяченной воды. Температура воды в момент постановки опыта должна быть около 30 °C.

4. Используемую в опыте ванну для изучения свойств поверхностных волн перед опытом следует тщательно вымыть чистой водой и тщательно протереть тряпочкой, смоченной в спирте.

5. Следует избегать касаний руками бортиков ванны, так как загрязнение от рук может исказить правильный контур пленки.

6. Первые капли раствора из пипетки несколько больше последующих, так как в них стекает раствор с наружной поверхности пипетки. Поэтому первые 2—3 капли надо выпустить не в ванну, а в сосуд, из которого брали раствор.

Подготовительный модельный опыт

В измерительный цилиндр насыпают мелкой (бекасиной) дроби столько, чтобы в мелкой прозрачной тарелке она покрыла ее дно в один слой.

В ходе опыта измеряют диаметр дна тарелки D и объем дроби V в измерительном цилиндре. По этим данным определяют диаметр дробинки d.

Методика проведения опыта

Собирают установку, аналогичную установке для демонстрации свойств поверхностных волн, но без «гасителей» волн (см. рис. 8, 98). Наливают в ванну воду и включают источник света. На экране видна четкая светлая картина, ограниченная бортиками ванны.

Посыпают (припорашивают) поверхность воды тонким слоем талька или детской присыпки, используя для этого ситечко из набора по магнетизму. Слой талька (присыпки) изменяет яркость светлого пятна на экране.

С помощью пипетки выпускают каплю чистого спирта и наблюдают, что при этом поверхность воды сначала очищается от талька (на экране в месте падения капли спирта образуется светлое пятно), а затем вновь покрывается слоем талька (светлое пятно на экране по мере испарения спирта исчезает). Эта часть опыта необходима для того, чтобы учащиеся убедились в том, что на по-

7 Заказ 1584

следующей стадии опыта наблюдаемый длительный эффект вызывается не спиртом, а олеиновой кислотой.

С высоты 2—3 см выпускают из пипетки одну каплю раствора в центр проекционной ванны (обязательно учитывая совет 6!). Наблюдают на экране образование светлого пятна, которое в первой стадии опыта расширяется, а затем медленно сужается и остается постоянным. Объясняют, что уменьшение размеров капли произошло в результате испарения спирта из раствора.

С помощью прозрачной линейки измеряют диаметр D образовавшегося пятна. Он оказывается около 20 см, а площадь

$$S=3{,}14\frac{400}{4}=314\ \text{см}^2.$$

Определяют объем одной капли. Для этого в малый измерительный цилиндр, а лучше всего в пикнометр закапывают столько капель, чтобы их суммарный объем достиг 1 мл. Обычно для этого надо закапать около 50 капель. Следовательно, объем одной капли раствора равен 0,02 см^3.

Определяют объем олеиновой кислоты в одной капле:

$$V=0{,}005\cdot 0{,}02\ \text{см}^3=10^{-4}\ \text{см}^3.$$

Зная поверхность пятна S и объем капли, определяют толщину слоя:

$$d=\frac{V}{S}=\frac{10^{-4}\ \text{см}^3}{314\ \text{см}^2}\approx 10^{-7}\ \text{см}=10^{-9}\ \text{м}.$$

Это и есть искомый диаметр молекулы олеиновой кислоты.

В качестве самостоятельной работы следует предложить учащимся определить массу молекулы, сообщив, что плотность олеиновой кислоты 800 кг/м^3.

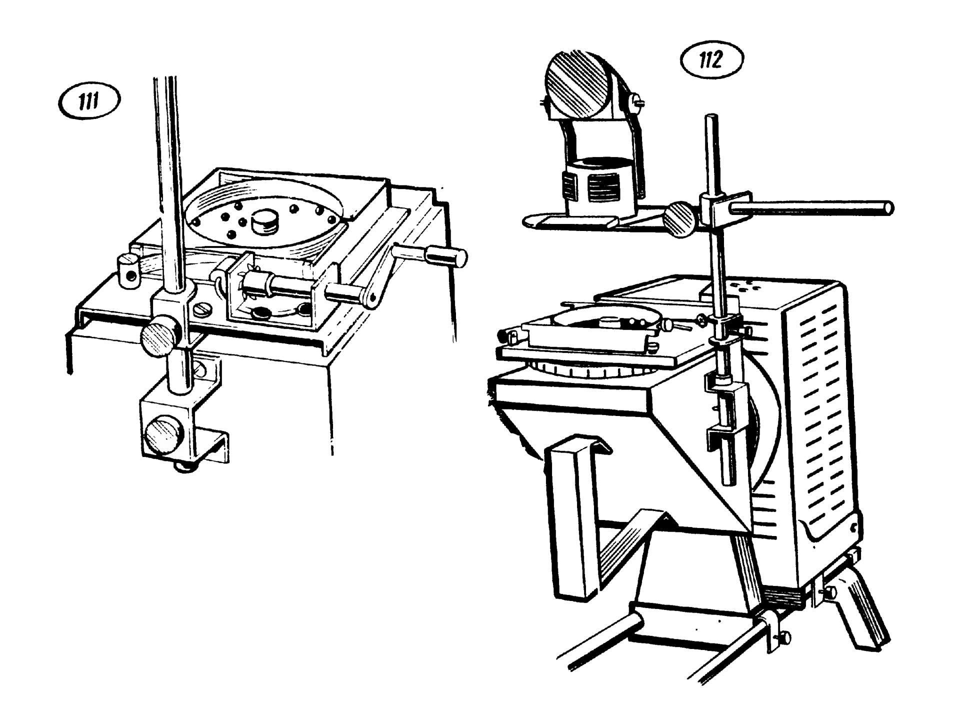
Опыт 68. Броуновское движение

Цель опыта. Объяснить учащимся механизм броуновского движения и, если в кабинете есть приспособление для микропроекции, показать броуновское движение.

Модельный опыт броуновского движения

Прибор для демонстрации модели броуновского движения представляет собой прямоугольную металлическую рамку размером 150×120 мм с круглым отверстием диаметром 70 мм посередине (рис. 111). По краям отверстия расположена замкнутая плоская пружина овальной формы, которая служит боковыми стенками прибора. Сверху и снизу пружины расположены стеклянные пластины размером 90×90 мм, причем верхняя пластина легко снимается. Внутри прибора помещены 10 стальных шариков диаметром 3—4 мм и резиновая пробка диаметром 10—12 мм, высотой 6—7 мм.

При помощи ударного механизма овальная пружина приводится в колебательное движение и ударяет по шарикам, которые



приходят в быстрое хаотическое движение. В результате ударов шариков о резиновую пробку последняя также начинает совершать беспорядочное движение. Таким образом, в этом приборе шарики изображают собой движущиеся молекулы, а резиновая пробка — частицу, совершающую броуновское движение. Об этом необходимо предупредить учащихся перед демонстрацией.

Этот опыт показывают в классе на экране с помощью проекционного аппарата, имеющего приставку для горизонтального проецирования. Установка для демонстрации, представленная на рисунке 112, собирается в такой последовательности.

Осторожно, держа за пластмассовое кольцо, вынимают переднюю линзу конденсора проекционного аппарата. На оправу конденсора надевают приставку для горизонтальной проекции. Затем вкладывают в верхнее отверстие приставки линзу, вынутую ранее из конденсора; ее плоская поверхность должна быть обращена наружу.

После этого устанавливают на приставку прибор для демонстрации модели броуновского движения. При этом рама прибора должна быть расположена симметрично над линзой, а скоба, имеющаяся сбоку прибора, закреплена винтом на стержне, удерживающем объектив.

Наконец, надевают на объектив плоское зеркало или призму полного внутреннего отражения и, отбросив пучок света на экран, перемещают объектив, чтобы получить резкое изображение одно-

го из шариков или резиновой пробки. Вращают рукоятку ударного механизма и показывают на экране хаотическое движение шариков, имитирующее движение молекул, а также движение пробки, возникающее в результате одновременного одностороннего удара нескольких шариков.

Демонстрация кинофрагмента «Броуновское движение» (из кинофильма «Молекулы и молекулярное движение»)

В школьных условиях показать броуновское движение так, чтобы это явление было видно на экране сразу всему классу, пока не представляется возможным, так как физические кабинеты средней школы не располагают соответствующей аппаратурой. Поэтому весьма полезно продемонстрировать учащимся кинофрагмент «Броуновое движение». Длина этого фильма 89 м, продолжительность демонстрации приблизительно 8 мин.

В начале этого фильма рассказывается об открытии Броуна (дается краткая фактическая справка). Затем демонстрируется приготовление раствора акварельной краски — гуммигута. Капля раствора рассматривается в микроскоп. Показывается крупным планом движение крупинок краски, видимое в микроскопе. Далее на экране появляется картина, наблюдаемая при рассматривании в микроскоп раствора китайской туши в спирте и частичек резины, взвешенных в воде. После этого дается объяснение наблюдаемого явления. Демонстрируется модель броуновского движения с помощью прибора Эйхенвальда.

В конце фильма приводится текст, где сообщается о теории Эйнштейна и ее опытной проверке французским физиком Перреном. Демонстрируется траектория Перрена, на которой отмечены положения движущейся частицы через каждые 30 с. Затем дается траектория, на которой отмечены положения движущейся частицы через каждую секунду и, наконец, через $\frac{1}{30}$ долю секунды.

Следует иметь в виду, что конец фильма выходит за пределы программы курса физики средней школы и требует дополнительных пояснений учителя. Поэтому целесообразно ограничиться показом фильма до кадров с надписью, сообщающей первоначальные сведения о теории Эйнштейна.

Демонстрация кинофильма «Опыт Штерна»

Опыт Штерна, раскрывающий доступный для понимания учащихся метод определения скорости газовых молекул, в средней школе пока поставить нельзя, так как он требует сравнительно сложного и дорогого оборудования.

Но ограничиться только рассказом учителя об этом опыте было бы недостаточно. Надо рассказ сопровождать кинофильмом «Опыт Штерна», снятым в одной из современных физических лабораторий. Общая длина фильма 80 м, демонстрация его на уроке занимает 7—8 мин.

В начале этого фильма показывается внешний вид установки. С помощью мультипликации объясняется устройство и принцип действия прибора.

Однако темп демонстрации опыта и связанных с ним явлений в фильме довольно быстрый. Поэтому перед просмотром фильма полезно объяснить идею опыта Штерна и начертить на классной доске принципиальную схему установки. Важно обратить внимание учащихся на то, что оба цилиндра вращаются с одинаковой угловой скоростью. Если бы они были неподвижны, то полоска «напыленных» молекул была бы против щели внутреннего цилиндра. При одном неподвижном цилиндре (внешнем или внутреннем — безразлично) или некоторой разности угловых скоростей молекулярный пучок покрыл бы всю внутреннюю поверхность большого цилиндра. Лишь при одинаковой угловой скорости обеих частей прибора полоска «напыленных» молекул смещается на некоторое определенное расстояние от начального положения, когда цилиндры не вращаются.

После того как разъяснен принцип опыта, с помощью кинофрагмента демонстрируется его первая часть. Оба цилиндра неподвижны. Молекулярный пучок, пройдя через щель, оседает на стенках второго цилиндра точно против щели. Опыт показан с помощью мультипликации.

Далее в кинофрагменте показывается крупным планом медная пластина со следами серебра, прошедшего через щель прибора. Однако полоска осевших молекул серебра видна недостаточно ясно, поэтому ее следует показать учащимся указкой.

Затем демонстрируется вторая часть опыта. Весь прибор приводится в равномерное вращательное движение. Вновь показывается медная пластина, на которой теперь видны две полоски серебра, сдвинутые одна относительно другой.

Необходимо обратить внимание учащихся на «размытость» изображения щели, что указывает на то, что молекулы одного и того же газа при одинаковой температуре обладают различными скоростями. Пользуясь этим фактом, позже можно будет ввести понятие о средней скорости газовых молекул.

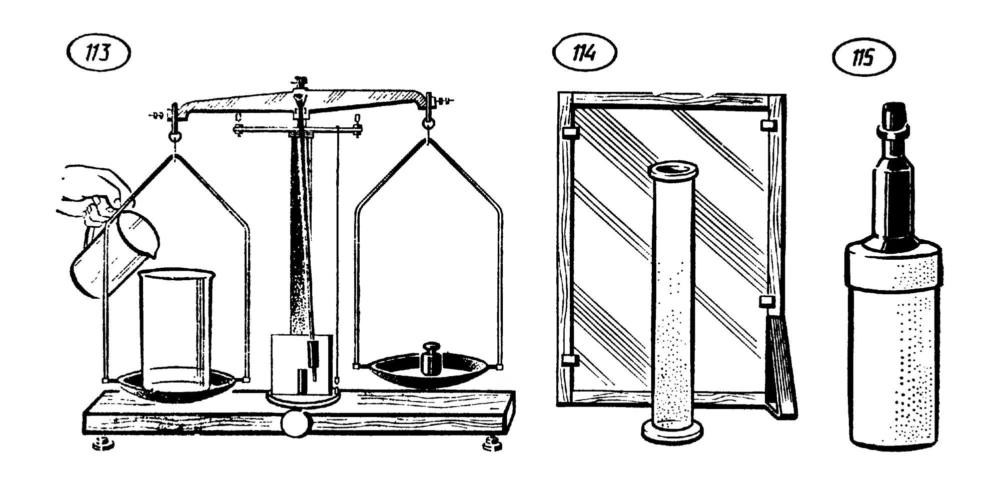
В заключение фильма объясняется методика определения скорости движения молекул серебра.

Опыт 69. Диффузия газов

Цель опыта. Показать диффузию газов.

Вариант А. Перед уроком на чашу демонстрационных весов устанавливают химический стакан и, тщательно уравновесив весы, арретируют их. На уроке, опустив арретир, показывают, что весы уравновешены. Затем в стакан медленно наливают пары эфира из склянки с эфиром (рис. 113). (Опыт хорошо поставить в теневой проекции). Равновесие весов нарушается, так как пары эфира тяжелее воздуха.

Оставляют весы неарретированными и через некоторое время убеждаются в том, что они постепенно вновь приходят в равнове-



сие. Это свидетельствует о диффузии паров эфира из стакана в окружающий воздух.

Вариант Б. В стеклянный цилиндр при помощи длинной пипетки капают на дно 1—2 капли брома. Для того чтобы пары брома в дальнейшем не выходили наружу, цилиндр закрывают сверху стеклянной пластиной. Бром сразу начинает испаряться, и его тяжелые пары довольно быстро диффундируют вверх. Это хорошо видно учащимся с любого места в классе, так как пары брома имеют ярко-коричневую окраску.

Для лучшей видимости полезно сзади цилиндра поставить белый настольный экран (рис. 114). Кроме того, можно дополнительно осветить цилиндр со стороны аудитории, расположив осветитель для теневой проекции немного сверху и спереди цилиндра.

После демонстрации во избежание загрязнения воздуха в классе парами брома в цилиндр следует налить воду, в которой пары брома хорошо растворяются.

Опыт 70. Диффузия газов через пористую перегородку

Для демонстрации диффузии газов через пористую перегородку промышленность выпускает небольшой пористый цилиндр, плотно закрепленный в цоколе из пластмассы (рис. 115). Цоколь заканчивается патрубком для резиновой трубки.

Прибор необходимо беречь от механических повреждений и загрязнений. При подготовке опытов цилиндр надо брать за цоколь и избегать касаний руками пористых стенок. Хранить цилиндр следует вставленным в малый химический стакан или картонный футляр.

Для успешной демонстрации опыта необходимо подобрать такие два газа, у которых средняя скорость движения молекул значительно отличалась бы от средней скорости движения молекул азота и кислорода, входящих в состав воздуха. Наиболее подходящими газами могут служить водород и углекислый газ.

Из приведенной ниже таблицы видно, что они удовлетворяют указанному выше условию. Кроме того, получить эти газы в школе нетрудно.

Средняя скорость молекул некоторых газов при 0 °C

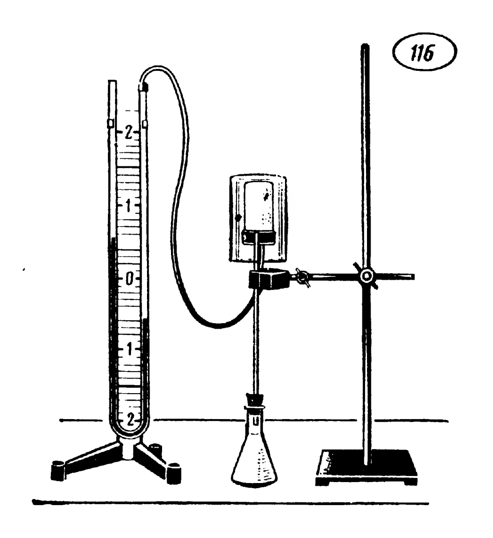
Азот	454 м/с
Кислород	425 м/с
Водород	1692 м/с
Углекислый газ	362 м/с

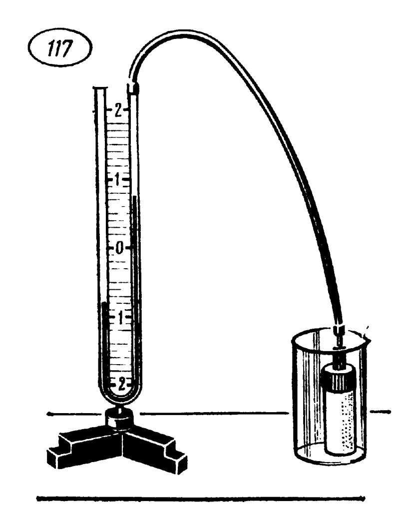
Полезно иметь в виду, что водород в этом опыте может быть заменен светильным газом, а углекислый газ — парами ацетона.

1. Диффузия водорода

Собирают установку, изображенную на рисунке 116. Под химический стакан, опрокинутый вверх дном, подводят трубку от аппарата Киппа и, наполнив стакан водородом, вводят в него снизу пористый сосуд. Молекулы водорода по своей массе меньше молекул азота и кислорода, составляющих воздух, поэтому средняя скорость теплового движения молекул водорода при данной температуре выше и водород проникает в пористый сосуд в большем количестве, чем выходит из него азота и кислорода. Давление в сосуде увеличивается, что и показывает манометр: жидкость в колене, соединенном с пористым сосудом, быстро опускается, а в открытом колене поднимается, создавая разность уровней до 40 см.

Вынув пористый цилиндр из стакана, наблюдают постепенное выравнивание уровней жидкости в манометре, что свидетельствует о выравнивании давления газа в сосуде с давлением окружающего его воздуха.





Однако жидкость в коленах манометра не остается на одном уровне: через некоторое время манометр покажет уменьшение давления в пористом сосуде. Это объясняется тем, что водород, частично заполнявший сосуд, диффундирует наружу быстрее, чем воздух внутрь сосуда.

2. Диффузия углекислого газа

Химический стакан ставят на подставку и наполняют углекислым газом, который тяжелее воздуха, при этом трубку от аппарата Киппа лучше опустить до дна стакана.

Наполнение стакана углекислым газом можно легко проверить с помощью горящей спички.

Так как масса молекул углекислого газа больше молекул азота и кислорода, составляющих воздух, то средняя скорость теплового движения молекул углекислого газа несколько меньше скорости движения молекул азота и кислорода. Убеждаются в справедливости этого, погрузив пористый сосуд в углекислый газ (рис. 117). Диффузия углекислого газа протекает в порядке, обратном диффузии водорода.

Демонстрация кинофильма «Диффузия»

Показать учащимся явление диффузии в твердых телах весьма желательно с методической точки зрения. Это помогло бы завершить представление о молекулярно-кинетической теории. Однако поставить такой опыт в школьных условиях невозможно. Поэтому здесь надо воспользоваться средствами кино и продемонстрировать фрагмент из кинофильма «Диффузия». Общая длина фильма 97 м, но лишь на последних 20—25 м раскрывается диффузия олова и меди.

На экране видно, как кусок меди покрывают расплавленным оловом. Пограничный слой — спай рассматривается в микроскоп. Заметно, что олово проникло в медь. С помощью мультипликации показывается схема движения молекул в меди и расплавленном олове.

Первая часть фильма может быть также полезной, если ее показать после демонстрации диффузии газа через пористую перегородку. Имеющиеся в фильме мультипликации помогают понять механизм этого явления. Содержание первой части фильма таково. К чистому листу белой бумаги, смоченному фенолфталеином, подносят вату, пропитанную нашатырным спиртом. Лист заметно окрашивается. Вату убирают, и пятно постепенно исчезает.

В опрокинутый химический стакан с водородом вводят пористый цилиндр, соединенный с водяным манометром. Манометр показывает увеличение давления внутри пористого цилиндра. Пористый цилиндр вынимают из химического стакана. Манометр показывает уменьшение давления внутри цилиндра. Опыт повторяется с углекислым газом. Объясняется явление диффузии газов через пористую перегородку с помощью мультипликаций, представляющих собой наглядную схему движения молекул.

Опыт 71. Притяжение молекул

Цель опыта. Показать существование сил притяжения молекул.

1. На свинцовые цилиндры для удобства зачистки торцов одевают поочередно металлическую муфту так, чтобы торец цилиндра чуть-чуть выступал за край муфты. Острым стальным ножом зачищают свинец, стремясь сделать торцовую поверхность ровной и чистой (рис. 118, *а*). (Промышленность выпускает для этой цели специальное приспособление, показанное на рисунке 118, *б*.)

Снимают муфту, прикладывают цилиндры друг к другу зачищенными торцовыми поверхностями и от руки плотно прижимают их, слегка поворачивая относительно продольной оси.

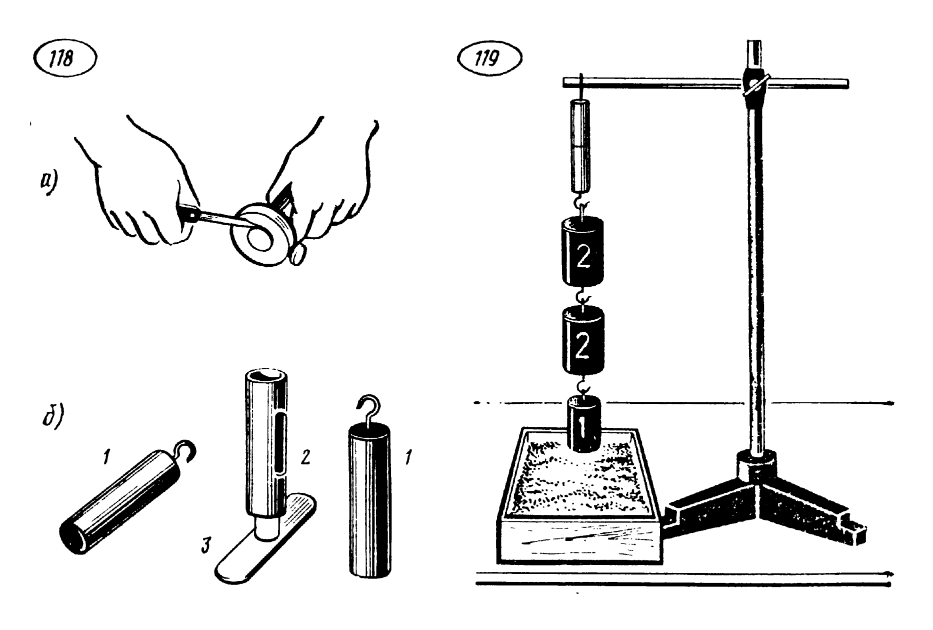
После этого сцепленные цилиндры подвешивают за один крючок на стержень штатива, расположенный невысоко над столом, а к другому крючку постепенно подвешивают гири, стараясь избегать резкого перехода нагрузки (рис. 119). При хорошей подготовке поверхностей сцепленные цилиндры выдерживают груз до 6 кг.

Чтобы предохранить крышку демонстрационного стола от удара гирь при возможном падении, под установку следует подставить небольшой противень с песком, как это показано на рисунке.

2. Спрессовывание свинцовых опилок.

Заготавливают заранее с помощью драчового напильника или рашпиля свежие свинцовые опилки объемом 5—7 см^3, высыпают их в химическую пробирку с пробкой. Затем проверяют действие гидравлического пресса, который должен создавать для этого опыта давление 100—120 атм ($10 \cdot 10^6$—$12 \cdot 10^6$ Па).

На уроке встряхивают пробирку и показывают учащимся находящиеся в ней мелкие свинцовые опилки. Далее показывают



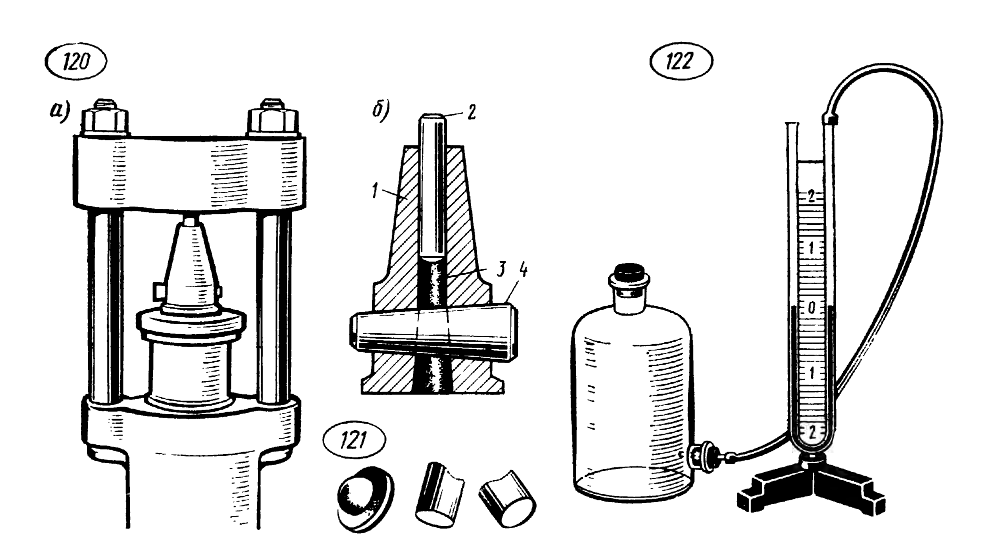
прилагаемое к прессу приспособление для спрессовывания опилок. Вынимают из него вертикальный стальной стержень и в отверстие насыпают опилки приблизительно на $^3/_4$ его глубины. Снова вставляют стержень одним концом в отверстие, а на другой его конец надевают съемную головку.

Подготовленный таким образом прибор помещают на середину опущенного вниз большого поршня гидравлического пресса и, наблюдая за тем, чтобы стержень не имел перекоса, делают несколько качаний рукояткой насоса. Большой поршень немного поднимется и слегка прижмет стержень (рис. 120, *а*). В таком виде установка готова для выполнения опыта.

После этого вычерчивают на классной доске разрез приспособления (рис. 120, *б*). Из рисунка видно, что верхний вертикальный стержень служит для прессовки, а нижний конусный является пробкой, которая дает возможность легко вынуть спрессованную деталь из пресс-формы. С этой целью пробка выбивается слабыми ударами деревянного молотка, а спрессованная масса выдавливается тем же прессом или деревянным молотком в нижнюю, более широкую часть канала, откуда она свободно выпадает наружу.

Приводят пресс в действие и, наблюдая за манометром, доводят давление до 100 атм ($10 \cdot 10^6$ Па). При таком давлении свинцовые опилки спрессовываются в сплошную блестящую свинцовую массу цилиндрической формы, в которой на глаз никак нельзя различить отдельные частицы. Свинцовый цилиндр, вынутый из пресс-формы, оказывается достаточно прочным: он распадается на отдельные части только при ударе молотком, что и надо показать учащимся в заключение опыта.

Следует иметь в виду, что подобному прессованию поддаются



и опилки других веществ, например красной меди или органического стекла. Однако цилиндрики, полученные из этих материалов путем прессования, будут менее прочными, чем свинцовые, несмотря на то что давление для них приходится применять до 150 атм ($14 \cdot 10^6$ Па). На рисунке 121 показаны спрессованные свинцовые и медные опилки, причем фигура слева получена из свинцовых опилок в пресс-форме, предназначенной для плавления льда под давлением.

Опыт 72. Определение постоянной Больцмана

Цель опыта. Познакомить учащихся с одним из способов определения постоянной Больцмана, являющейся одной из фундаментальных физических констант.

Несколько предварительных советов

Ознакомление с методами определения фундаментальных физических констант — одна из важнейших задач курса физики средней школы.

В школьном курсе физики о постоянной Больцмана учащиеся впервые узнают при установлении зависимости температуры газа от средней кинетической энергии поступательного движения молекул. Она входит в формулу

$$p = nkT, \quad \text{откуда} \quad k = \frac{p}{nT}.$$

Из этой формулы видно, что для определения постоянной Больцмана надо знать давление газа p, температуру газа T и концентрацию молекул n. Давление газа можно измерить манометром, температуру — термометром, а концентрацию молекул можно вычислить, если известна масса газа, объем и его молярная масса. Действительно,

$$n = \frac{N}{V}, \quad \text{но} \quad N = \frac{m}{M} N_A, \quad \text{отсюда} \quad n = \frac{m}{M} \frac{N_A}{V}.$$

Поэтому

$$k = \frac{pMV}{mN_A T}.$$

Таким образом, для определения постоянной Больцмана необходимо на опыте измерить давление, температуру, объем и массу газа с известной молярной массой M.

Методика проведения опыта

Собирают установку, изображенную на рисунке 122. Сосуд вместимостью около 5 дм^3 соединен с водяным манометром.

В начале демонстрации опыта проверяют герметичность соединения сосуда с манометром. Если соединение герметично, то при прикосновении к нему руками показания манометра изменяются.

Набирают в медицинский шприц этиловый эфир объемом

2—3 см³ ($\rho=714$ кг/м³, $M=74\frac{кг}{моль}$). Протыкают иглой шприца пробку, закрывающую сосуд, и быстро вводят в сосуд эфир. Показания манометра при этом несколько изменятся, и их надо заметить (p_1).

Испарение эфира приведет к дальнейшему изменению давления в сосуде. Замечают максимальное давление p_2. Разность между p_1 и p_2 даст давление паров эфира в сосуде:

$$p=p_2-p_1.$$

Это давление выражают в паскалях (1 мм водяного столба равен 10 Па).

Измеряют комнатную температуру и выражают ее в кельвинах. По полученным данным вычисляют постоянную Больцмана.

В одном из демонстрационных опытов были получены следующие данные: $T=292$ К, $p=96$ мм H_2O, $V=5\cdot10^{-3}$ м³, $m=2\cdot10^{-6}$ м³$\times$ $\times714\frac{кг}{м^3}=1428\cdot10^{-6}$ кг. Вычисления дали для постоянной Больцмана следующее значение:

$$k=1{,}41\cdot10^{-23}\frac{Дж}{К}.$$

Опыт 73. Зависимость между объемом, давлением и температурой для данной массы газа

Цель опыта. Показать, что при небольших давлениях и высоких температурах зависимость между объемом газа, его давлением и температурой (при постоянной массе газа) хорошо описывается уравнением газового состояния (Менделеева — Клапейрона).

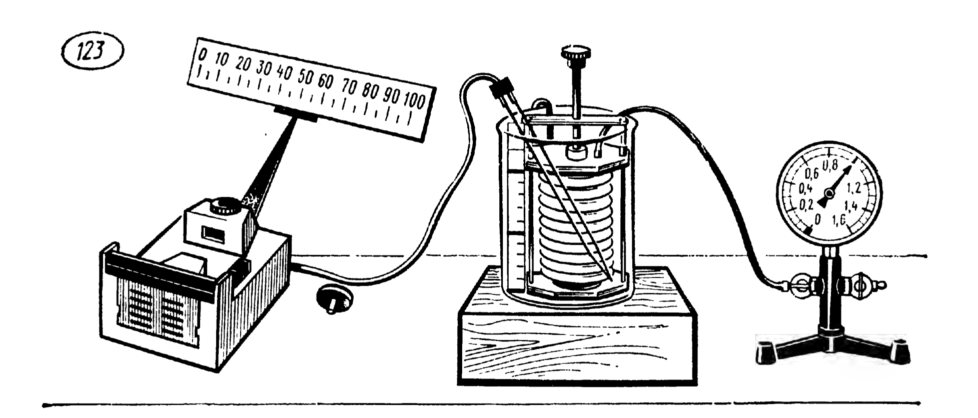
Перед опытом объясняют устройство прибора, предложенного учителем физики С. Л. Калимулиным для изучения в школе свойств газов. Следует попутно указать, что сильфоны находят широкое применение в современной технике и их применение в школьном демонстрационном эксперименте лишь одно из многих применений.

Затем собирают установку, изображенную на рисунке 123. Закрыв свободный кран у манометра, обращают внимание учащихся на то, что давление газа в сильфоне 1 атм ($9{,}8\cdot10^4$ Па). По комнатному термометру измеряют температуру воздуха в классе T_1. Объем газа в сильфоне $V=Sl$, но так как сечение сильфона постоянно, то объем газа в нем можно выражать в условных единицах, которые равны численно его высоте l. Поэтому

$$V=l_{усл.ед}.$$

Записывают на доске параметры состояния газа в сосуде и вычисляют значение выражения $\frac{p_1V_1}{T_1}$, которое также записывают на доске.

Помещают прибор в сосуд с теплой водой и медленно изменя-



ют произвольно объем газа, замечают изменение его давления. Измерив температуру газа (она равна температуре воды, так как стенки сильфона изготовлены из металла — хорошего проводника тепла) вычисляют значение выражения

$$\frac{p_2 V_2}{T_2},$$

которое оказывается близким к предыдущему.

Заменив теплую воду (специально подогретую) холодной, еще раз повторяют опыт и по его данным вычисляют значение выражения

$$\frac{p_3 V_3}{T_3},$$

которое и в этом случае оказывается близким к двум предыдущим.

Опыт 74. Изотермический процесс

Цель опыта. Показать, что при постоянной температуре произведение объема данной массы газа на его давление — величина постоянная (закон Бойля — Мариотта).

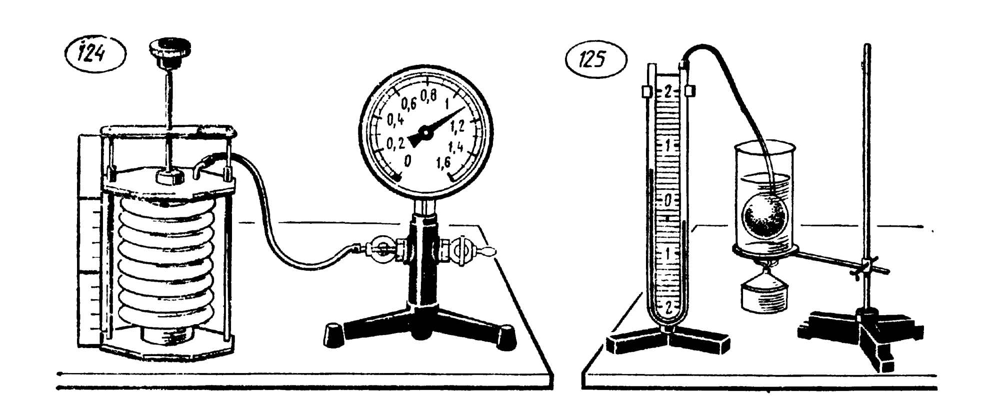
Опыт демонстрируется с помощью установки, изображенной на рисунке 124.

Записав начальную температуру воздуха в сильфоне (она равна комнатной) и его начальный объем (в условных единицах), находят произведение $p_1 V_1$ и записывают результат на доске.

Нарочито медленно изменяют объем газа. Заметив показания манометра и определив (в условных единицах) его объем, находят произведение $p_2 V_2$. Оно оказывается близким к значению $p_1 V_1$.

Повторяют опыт еще раз, и вновь оказывается, что значение произведения $p_3 V_3$ близко к двум предыдущим.

Обращают внимание учащихся, что температура газа в сильфоне оставалась в ходе опыта постоянной.



Опыт 75. Изобарный процесс

Цель опыта. Показать учащимся, что при постоянном давлении объем газа линейно зависит от абсолютной температуры.

Опыт проводится на установке, использованной в двух предыдущих опытах, но для измерения температуры используется демонстрационный термометр, а для изменения температуры — лабораторный парообразователь.

Собрав установку, заливают в стеклянный сосуд холодную воду, в которой плавают кусочки льда. Термометр показывает, что $t=0$ °C. Закрывают свободный кран манометра. Манометр показывает 1 атм ($9{,}8\cdot10^4$ Па). Начальное состояние газа V_1t_1p отмечают точкой на графике зависимости объема от температуры (V, t).

Вынув кусочки льда из сосуда, пропускают пар от лабораторного парообразователя (или доливают кипяток, если в кабинете нет парообразователя). Замечают повышение давления газа. Увеличивая объем, занимаемый газом, добиваются установления прежнего давления. По показаниям термометра и объему газа отмечают состояние газа V_2t_2p на графике.

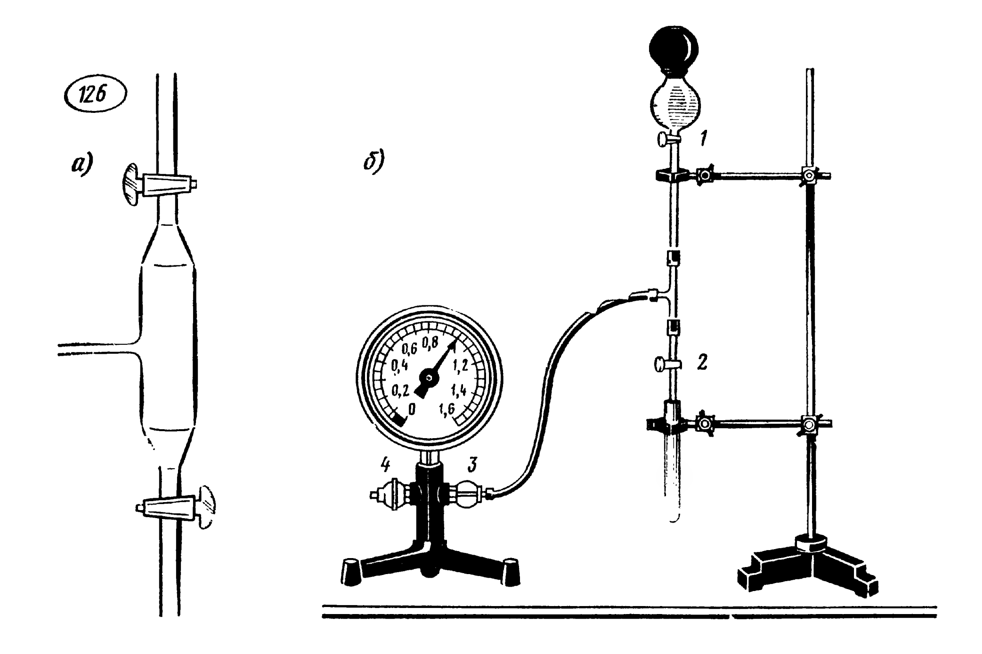
Продолжая нагревание газа, отмечают точками на графике еще 2—3 состояния и по полученным точкам строят график зависимости объема от температуры.

В качестве самостоятельной работы предлагают учащимся экстраполировать подмеченную закономерность на отрицательные температуры, а также построить графики зависимости объема от температуры (V, T) и объема от давления (V, p).

Опыт 76. Изохорный процесс

Цель опыта. Показать учащимся, что при постоянном объеме давление данной массы газа пропорционально его температуре.

Опыт ставится на установке, использованной при постановке предыдущего опыта. Оставив объем воздуха в сильфоне постоянным, нагревают газ. По данным опыта строят график зависимости давления от температуры (p, t).



В качестве самостоятельной работы предлагают экстраполировать график на отрицательные температуры, а также построить графики зависимости давления от температуры (p, T) и давления от объема (p, V).

Опыт 77. Газовый термометр

Цель опыта. Показать принцип устройства газового термометра.

Собирают установку, изображенную на рисунке 125. Объяснив учащимся, что количество теплоты, выделяемое горелкой и получаемое водой, пропорционально времени горения, демонстрируют нагревание воды в сосуде, в котором находится баллон модели газового термометра. Замечают, что показания манометра, соединенного с баллоном газового термометра, равномерно растут, что свидетельствует о пропорциональности его показаний температуре газа.

Опыт 78. Свойства насыщенных паров

Цель опыта. Показать, что: а) давление насыщенных паров при постоянной температуре не зависит от занимаемого ими объема; б) при повышении температуры давление насыщенных паров увеличивается, а при понижении уменьшается.

Возможны три варианта постановки опыта (ход опыта одинаков).

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 126, *б*.

Из-за отсутствия в кабинетах физики специального сосуда,

изображенного на рисунке 126, *а*, приходится собирать установку из четырех деталей так, как это изображено на рисунке 126, *б*, что не только усложняет сборку, но, что более существенно, затрудняет герметизацию установки.

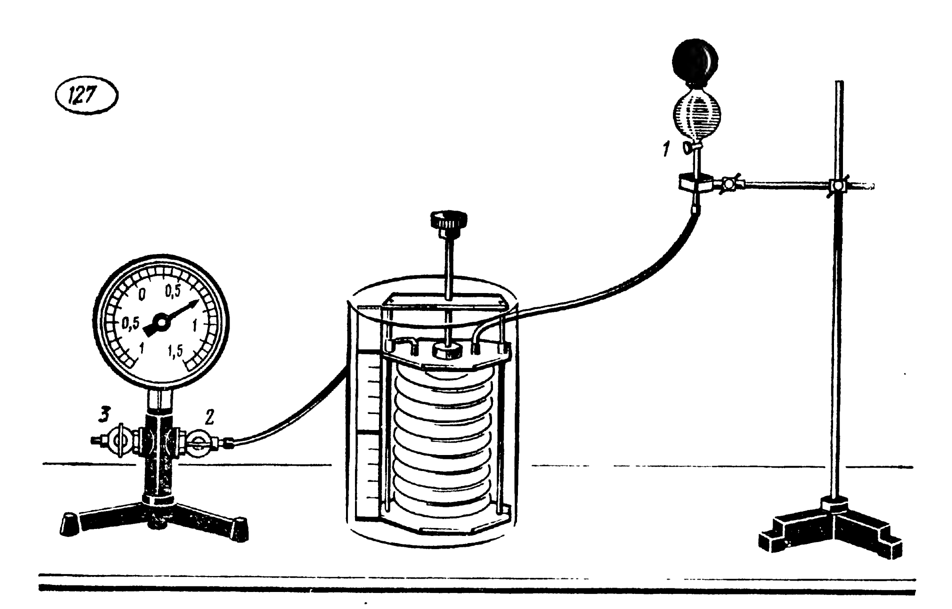
2. Установку можно существенно упростить, если слегка модернизировать прибор Калимулина для изучения свойств газов. Модернизация сводится к впаиванию на верхней его крышке дополнительного ниппеля, который можно взять от камеры велосипедного колеса. Этот дополнительный ниппель во всех предыдущих опытах должен быть закрыт. Установка с модернизированным прибором Калимулина показана на рисунке 127.

3. За счет некоторого снижения наглядности опыта можно упростить установку, используя оба крана демонстрационного манометра. Такая установка изображена на рисунке 128.

Ход опыта

1. Собрав установку, изображенную на рисунке 127, при закрытом кране *1* наливают в воронку эфир объемом 3—4 мл и надевают на воронку грушу для предохранения эфира от испарения.

2. Закрыв кран *3*, открывают краны *1* и *2*. Слегка нажав на грушу, впускают в предварительно сжатый до минимальных размеров сильфон последовательно несколько капель эфира. Избыточное давление паров эфира измеряет манометр. Замечают, что по мере увеличения массы эфира в сосуде давление его паров увеличивается. Наконец наступает такой момент, когда давление паров, несмотря на увеличение массы эфира в сосуде, не изменяется. Ничего не изменяется и после того, как в сильфон выливают



весь оставшийся эфир. В сосуде образовался насыщенный пар эфира.

3. Увеличивая (медленно) объем сильфона, наблюдают, что давление насыщенного пара остается постоянным. Не меняется давление пара и при уменьшении объема.

Опыт свидетельствует, что при неизменной температуре давление насыщающих паров постоянно.

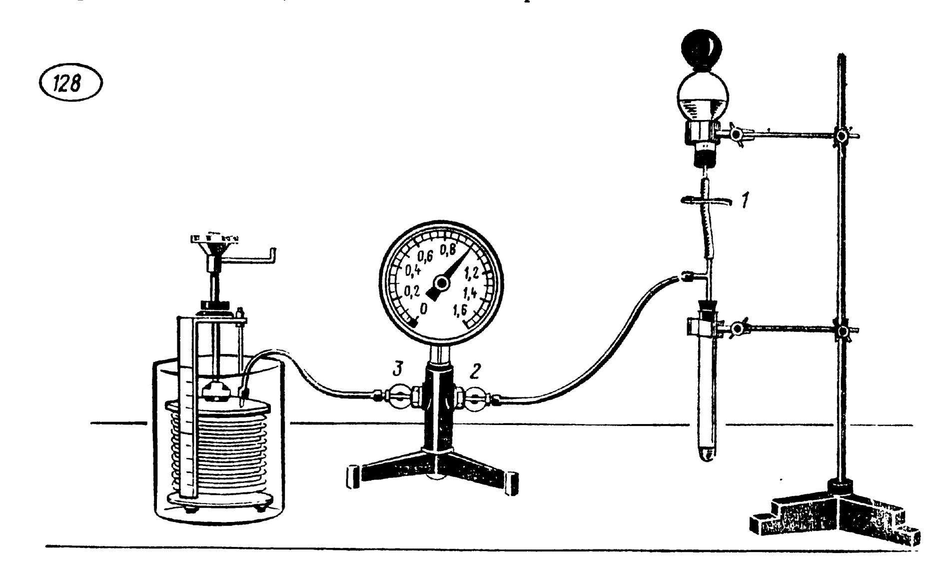
4. В стеклянный сосуд, в котором стоит сильфон, наливают холодную воду (со льдом). Замечают, что давление насыщающих паров уменьшается. Изменяя объем сильфона, а следовательно, и объем паров, убеждаются, что их давление остается постоянным. Вынув кусочки льда, доливают в сосуд горячую воду. Замечают, что давление паров увеличилось. Изменяя объем сильфона, убеждаются, что давление паров при новой температуре не зависит от объема.

Проведенные опыты свидетельствуют, что давление насыщенных паров не зависит при постоянной температуре от объема, а при повышении температуры повышается.

Опыт 79. Переход ненасыщенных паров в насыщенные при уменьшении объема

Цель опыта. Показать, что ненасыщенные пары при уменьшении объема могут перейти в насыщенные.

Собирают установку, изображенную на рисунке 127 или на рисунке 126, *б*. Вода в сосуде нужна для поддержания в сильфоне постоянной температуры. Закапывают в сильфон 5—6 капель эфира (хлорэтан). Закрывают краны *1* и *3*. Манометр измеряет давление ненасыщенных паров. Медленно уменьшают объем пара в сильфоне. Замечают, что давление пара повышается сначала до-



вольно быстро, а затем все медленнее и медленнее. Наконец наступает момент, когда изменение объема не приводит к увеличению давления. Это и свидетельствует о том, что пары стали насыщенными.

Увеличивая объем, замечают, что при малых изменениях давление остается постоянным, а при более значительных уменьшается. Это — свидетельство того, что насыщенные пары превратились в ненасыщенные.

Примечание: необходимо для успешного проведения опыта объем легко испаряющейся жидкости подобрать до урока.

Опыт 80. Кипение воды при пониженном давлении

Цель опыта. Показать кипение теплой воды при понижении давления.

В круглодонную колбу наливают очень горячую, но не кипящую воду и плотно закрывают пробкой, соединенной с воздушным насосом (рис. 129).

Выкачивая воздух из колбы, замечают бурное кипение воды.

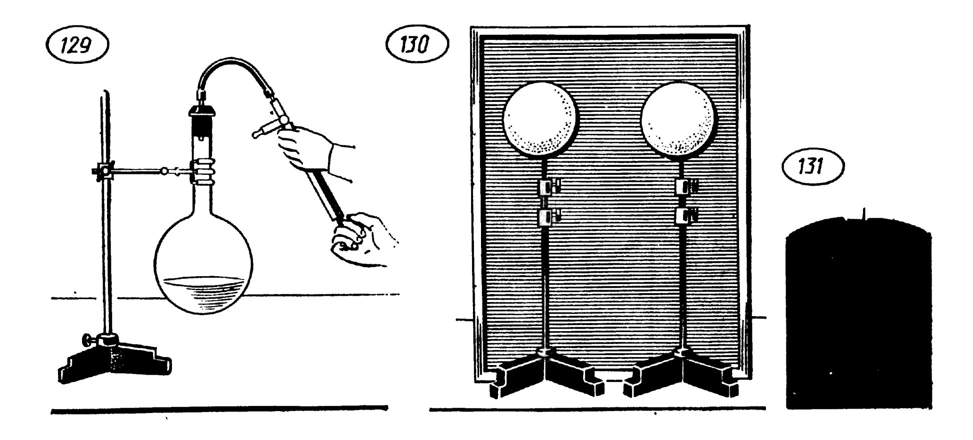
Вместо насоса Камовского можно использовать ручной насос.

Опыт 81. Влажность воздуха

Цель опыта. Объяснить принцип устройства и работы гигрометра.

Берут одинаковые блестящие полые шары из комплекта к школьным электрометрам и укрепляют их в изолирующих штативах (рис. 130). Сзади располагают черный экран и обращают внимание учащихся на одинаковый блеск полированных поверхностей обоих шаров.

Затем в один из шаров наливают примерно до половины холодную воду, в которой плавают кусочки льда или снега. Через некоторое время шар с водой охладится. Его поверхность покроется росой, выпавшей из окружающего воздуха, станет матовой и по виду будет заметно отличаться от поверхности другого шара.



При объяснении этого явления подчеркивают, что выпадение росы из воздуха в данных условиях происходит при строго определенной температуре, которая носит название точки росы. После этого переходят к рассмотрению устройства и действия школьного гигрометра.

Опыт 82. Свойства поверхности жидкости

Цель опытов. Показать специфические свойства поверхности жидкости.

1. Химический стакан до краев наполняют водой и с помощью осветителя для теневого проецирования проецируют на экран. С помощью медицинской груши осторожно доливают воду до тех пор, пока не станет хорошо видимой слегка выпуклая форма ее поверхности (рис. 131). Осторожно опускают на «верхушку» поверхности канцелярскую кнопку, слегка смазанную вазелином, острием вверх. Кнопка плавает на поверхности.

2. Продолжая опыт, опускают в воду иглы острием вниз. Поверхность становится более выпуклой.

3. Конец бюретки с краном проецируют с помощью проекционного аппарата на экран так, чтобы получилось увеличенное изображение конца бюретки. В приемную часть бюретки наливают 60%-ный раствор сахара в воде или 25%-ный раствор медного купороса (их поверхностное натяжение больше, чем у воды). Медленно открывают кран и на экране наблюдают процесс образования капли.

Опыты убеждают учащихся в том, что поверхность жидкости обладает специфическими свойствами, напоминающими в какой-то мере свойства тонкой резиновой пленки.

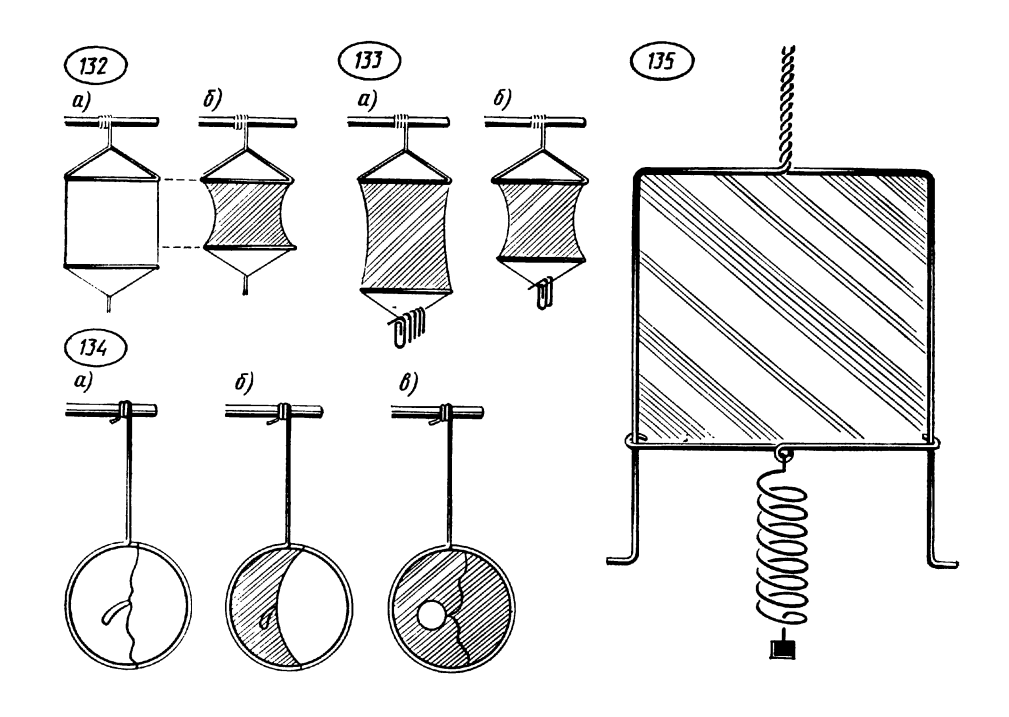
Следует иметь в виду, что успешность описанных выше опытов в значительной мере зависит от чистоты края химического стакана и края бюретки. Поэтому перед опытом края стакана надо тщательно промыть водой и высушить. Не следует прикасаться к краям стакана и бюретки руками.

Опыт 83. Изучение свойств поверхности жидкости с помощью мыльных пленок

Цель опытов. На модельных опытах с мыльными пленками изучить свойства поверхности жидкости.

1. В 3—4%-ный раствор детского мыла опускают две прямые проволочки диаметром 0,5—1 мм и длиной 100—80 мм, соединенные между собой тонкими нитями так, как показано на рисунке 132, *а*. Вынув проволочки из раствора, замечают, что между проволочками и нитями образовалась мыльная пленка, боковые стороны которой имеют форму дуг.

Потянув слегка за нижний конец нити, замечают, что кривизна боковых нитей уменьшилась, а следовательно, поверхность пленки увеличилась. Опустив нижний конец нити, замечают, что мыльная пленка принимает прежнюю форму и ее поверхность уменьшается,



2. Повторяют аналогичный опыт с каркасом, изображенным на рисунке 133, *а*. Укрепив рамку в штативе, подвешивают к кольцу подвижной перемычки слегка разогнутые канцелярские скрепки (рис. 133, *б*), замечают, что при этом поверхность мыльной пленки увеличивается. Уменьшив число подвешенных скрепок, замечают, что мыльная пленка, сокращаясь, совершает работу по подъему оставшихся скрепок.

Опыт свидетельствует, что мыльная пленка, а следовательно, и поверхность жидкости, находящаяся между ее двумя поверхностями, обладают энергией, которая получила название поверхностной энергии.

3. Полезно показать образование мыльных пленок с каркасами, изображенными на рисунке 134. Анализируя проделанные опыты, обращают внимание на то, что во всех опытах мыльная пленка принимает такую форму, при которой площадь ее поверхности минимальна, что подтверждает положение об условии равновесия, с которым учащиеся познакомились в IX классе: при устойчивом равновесии система обладает минимумом потенциальной энергии.

4. Используя каркас, изображенный на рисунке 133, *а*, и проекционный демонстрационный динамометр, можно измерить поверхностное натяжение. Для этого перед опытом измеряют вес нижней перекладины, а затем это значение добавляют к показаниям демонстрационного динамометра (рис. 135). Опыт ставится в проекции. Если в кабинете нет проекционного динамометра, си-

лу поверхностного натяжения, действующую на подвижную границу пленки, можно определить, взвесив на весах подвижную проволоку вместе с подвешенными к ней скрепками.

Опыт 84. Опыт Плато

Цель опыта. Показать учащимся, что в случае компенсации внешних воздействий жидкость приобретает форму шара.

1. Опыт лучше всего поставить в проекции. Для этого в плоскую сборную кювету наливают раствор поваренной соли в воде. Плотность раствора должна быть близкой к плотности анилина (1022 кг/м^3). Для этого надо в воде объемом 1 л растворить соль массой 38 г. Для успеха опыта раствор должен иметь разную плотность у дна и вверху сосуда. Для этого перед тем, как налить в кювету раствор, на дно кюветы насыпают соль тонким слоем.

На поверхность раствора осторожно наливают анилин объемом 1—2 мл. Образуются 2—3 (при неосторожном наливании больше) капли анилина, которые, опускаясь вниз, останавливаются в том слое раствора, плотность которого равна их плотности. Тонкой проволокой можно подтолкнуть капли, приблизить их друг к другу. В этом случае они сливаются в каплю большого размера. Иногда капли образуются сплющенными. Это происходит из-за того, что разность плотностей раствора в рядом расположенных слоях (градиент плотности) слишком велика.

Чтобы собрать анилин после опыта, верхнюю часть раствора надо слить, а вместо нее в сосуд надо долить теплой воды. Все капли анилина спустятся на дно. Воду сливают, а оставшийся анилин сливают в сосуд, в котором он хранится. Анилин ядовит, поэтому подготовительную часть опыта необходимо проводить в вытяжном шкафу. После опыта полученный препарат не надо сливать: он может храниться годами. Анилин под водой не испаряется.

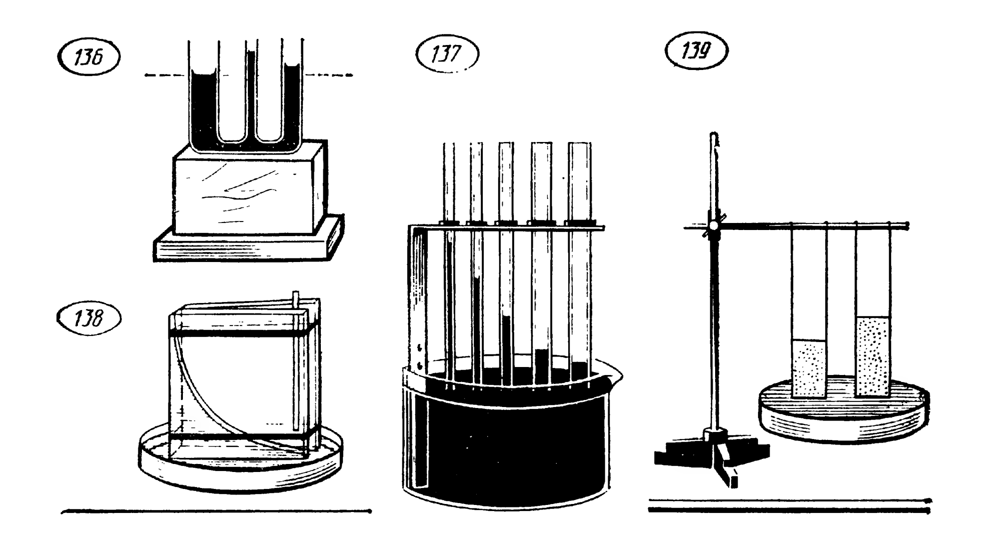
2. Опыт удается при использовании тормозной жидкости ($\rho = 1110$ кг/м^3) и воды, а также при вливании в водный раствор спирта ($\rho = 790$ кг/м^3) и машинного масла ($\rho = 890$ кг/м^3). Во втором случае надо подобрать плотность водного раствора спирта.

Опыт хорошо удается, если использовать магнитную жидкость, полученную в результате добавления в темное машинное масло магнитного порошка, смытого с магнитофонной ленты. В этом случае магнитный порошок должен быть тщательно перемешан с маслом.

Опыт 85. Смачивание и несмачивание твердого тела жидкостью

Цель опыта. Показать, что одна и та же жидкость тела, изготовленные из одного вещества, смачивает, а из другого — не смачивает.

1. В плоскую проекционную кювету наливают слегка подкрашенную воду. Кювету проецируют на экран так, чтобы была хорошо видна ее поверхность. В сосуд вертикально опускают деревянную палочку (например, карандаш, с поверхности которого



наждачной бумагой снята краска). На экране хорошо видно, что вода смачивает дерево.

Вместо палочки с очищенной поверхностью в кювету опускают палочку, поверхность которой покрыта парафином. На экране отчетливо видно, что вода не смачивает поверхность, покрытую парафином.

2. В химический стакан, наполненный водой, опускают лоскут хлопчатобумажной ткани и вынимают его. Учащиеся видят, что лоскут намок в воде.

В этот же сосуд опускают лоскут хлопчатобумажной ткани, обработанный до урока водоотталкивающим раствором, применяемым в быту. Вынув ткань из воды, демонстрируют, что она практически не намокла.

Опыт 86. Капиллярные явления

Цель опыта. Показать явление капиллярности и проиллюстрировать зависимость высоты поднятия жидкости от диаметра капилляров.

1. Проще всего (но, к сожалению, не лучше всего) для демонстрации явления капиллярности использовать стандартные капилляры, изготовленные в виде сообщающихся сосудов (рис. 136). В широкую трубку наливают подкрашенную воду. Опыт ставится в проекции, и на экране хорошо видна разница в уровнях жидкости.

2. Значительно лучше опыт можно поставить с набором капилляров, используемых в медицинских учреждениях для взятия крови для анализа. Подобранные капилляры устанавливают в общую стойку (рис. 137). В этом случае на фоне белого экрана хорошо видна непосредственно разность высот жидкости в капиллярах.

3. Зависимость высоты поднятия от размеров «отверстия» хорошо показать на опыте с двумя стеклянными пластинами. Для этого две тщательно промытые под проточной водой стеклянные пластины складывают между собой так, чтобы они образовали двугранный угол. Для этого одни края пластин приводят в соприкосновение, а между противоположными краями вставляют резиновую трубку. Образовавшуюся модель двугранного угла скрепляют двумя резинками или (что хуже) нитками (рис. 138).

Скрепленные пластины опускают в кювету с подкрашенной водой и проецируют на экран. На экране хорошо видно, что высота поднятия жидкости между пластинами зависит от расстояния между пластинами (форма поверхности жидкости между пластинами близка к гиперболической).

4. Из разных сортов фильтровальной бумаги вырезают две одинаковые полоски и, укрепив на штативе, опускают в подкрашенную воду (рис. 139). По капиллярным сосудам бумаги вода поднимается на разную высоту. Это свидетельствует о разных диаметрах микрокапилляров в бумаге. Опыт может служить отправной точкой (или завершением) объяснения таких агромероприятий, как боронование и укатывание почвы.

Демонстрация кинофильма «Капиллярные явления в природе и технике»

В фильмотеках обычно имеются два одноименных фильма выпуска разных годов с примерно одинаковым содержанием: примеры капиллярных явлений; подъем смачивающей жидкости по капилляру; опускание несмачивающей жидкости в капилляре; объяснение с помощью мультипликации явлений капиллярности; капиллярные явления в природе и технике.

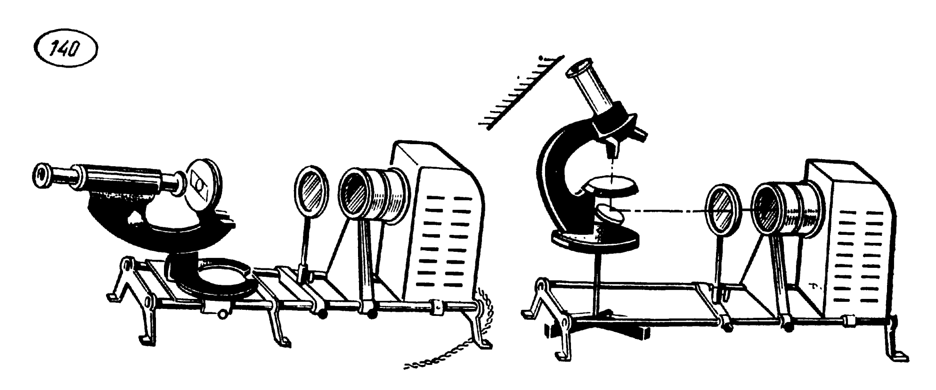
Опыт 87. Рост кристаллов

Цель опыта. Показать переход вещества из жидкого состояния в твердое кристаллическое состояние.

Несколько предварительных советов

а) Наблюдение процесса кристаллизации возможно из перенасыщенного раствора и из расплава. Успех опыта в значительной мере зависит как от качества приготовленного раствора, так и от качества расплава. Растворы надо готовить на дистиллированной воде и лишь в крайнем случае на хорошо прокипяченной воде.

б) Выразительность опыта и его красота во многом зависят от выбора веществ, кристаллизацию которых учитель решил показать. Для приготовления водных растворов можно взять: гидрохинон, дихромат аммония, хлорид аммония, нитрат калия, сульфат магния, гексаметилентетрамин. Последние два вещества привлекательны тем, что из их насыщенного раствора быстро образуются крупные кристаллы, которые можно наблюдать с помощью обычного проекционного аппарата. Для приготовления расплава берут гипосульфит ($t_{пл} \approx 48\,°C$), салол ($t_{пл} = 42\,°C$).



в) Для качественного наблюдения процесса кристаллизации необходим микропроектор со сравнительно небольшим увеличением. Школы такого микропроектора не имеют, но его легко собрать из школьного микроскопа и любого современного проекционного аппарата с большим световым потоком (например, «Свитязь», «Альфа», «Лектор-600»). Помимо большого светового потока, современные проекционные аппараты имеют перед универсальным проекционным аппаратом то преимущество, что они снабжены встроенными теплофильтрами и имеют принудительную вентиляцию.

На рисунке 140 показана установка такого сборного микропроектора. Объектив проекционного аппарата снят: изображение создает микроскоп. Объектив микроскопа длиннофокусный. Вместо проекционного объектива поставлена линза с фокусным расстоянием 400 мм. Эта линза собирает световой поток проектора примерно на отверстии в предметном столике микроскопа.

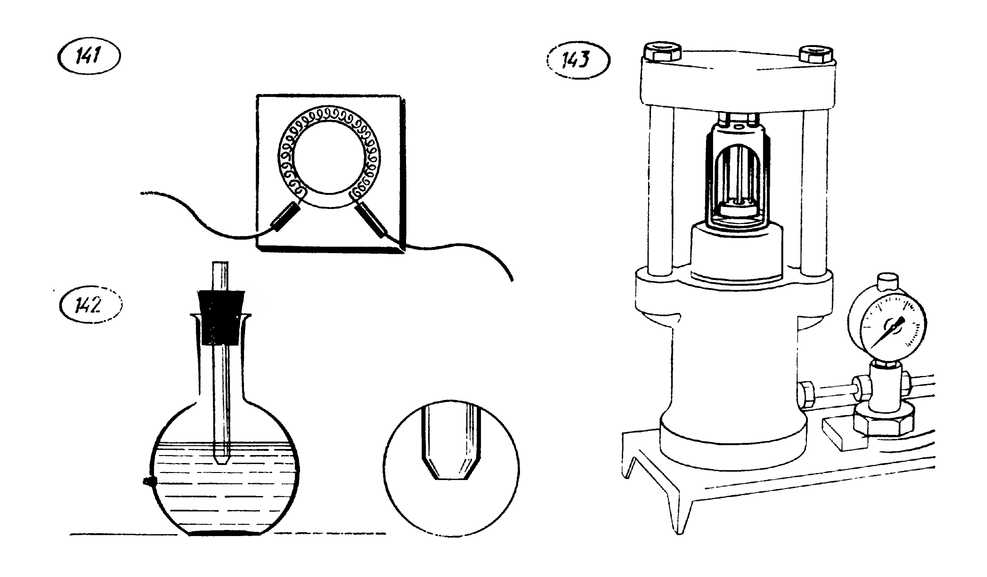
Проекцию надо вести на просвет. Экран для этого изготавливают из кальки или любой матовой, прозрачной для света пленки. В крайнем случае экран можно изготовить из тонкой белой бумаги.

г) Если в школе нет возможности собрать установку для микропроекции, рост кристаллов можно (правда, менее выразительно) показать в проекции на большой экран с помощью графопроектора или современного проекционного аппарата (опыты а и б).

д) Для получения расплава кристаллических веществ очень удобен нагреватель, схематически изображенный на рисунке 141.

Из асбошифера выпиливается пластина размером примерно 100×100 мм. В середине пластины делается отверстие, диаметр которого примерно на 10 мм больше диаметра в предметном столике микроскопа. Края отверстия у каждой из пластин стачиваются под углом 45° так, что при совмещении пластин в отверстии образуется паз. Вдоль этого паза укладывается спираль из нихрома. В процессе изготовления эта спираль закрепляется нитками.

Выводы от спирали зажимают вместе с подводящими проводниками между пластинами четырьмя винтами. После этого спираль сначала заливают жидким раствором алебастра, а затем аккурат-



но замазывают алебастром. На время опыта обогреватель закрепляют на предметном столике микроскопа через отверстия, сделанные против отверстий в столике, через которые крепятся прижимы предметного стекла. Питание обогревателя производится от батареи аккумуляторов.

Вариант А. На приспособление для горизонтальной проекции универсального проектора (лучше на столик графопроектора) кладут чистое стекло для предохранения конденсора от повреждения.

Поставив на стекло кристаллизатор, наливают в него тонким слоем перенасыщенный, заранее приготовленный раствор. Бросив в раствор маленький кристаллик, через некоторое время замечают рост этого кристаллика и появление других.

Недостаток опыта в его временной протяженности: надо ждать, пока часть воды из раствора под действием света и теплового потока испарится.

Вариант Б. В любой проекционный аппарат на место диапозитива устанавливают чисто вымытое стекло (вырезанное по размерам диапозитива), предварительно смочив его с одной стороны перенасыщенным раствором соли, приготовленным для опыта. Под действием инфракрасного излучения стекло нагревается и в нанесенном на нем слое раствора начинается кристаллизация.

В отличие от предыдущего варианта опыта этот опыт идет быстрее. Особенно хорошо идет опыт с раствором сульфата магния.

Вариант В. Собирают установку, подобную той, схема которой изображена на рисунке 140. На предметное стекло наносится насыщенный раствор и накрывается покровным стеклом. Включив осветитель, через 2—3 мин (иногда чуть меньше) наблюдают на-

чало кристаллизации, сначала с краев, а затем по всей видимой поверхности.

Вариант Г. На предметном столике микроскопа устанавливают нагреватель. На нагреватель кладут предметное стекло, на которое насыпают кристаллы вещества, процесс кристаллизации которого решили показать.

Включив нагреватель, наблюдают плавление кристалликов и растекание образовавшейся жидкости по предметному стеклу.

Выключив нагреватель, через 1—2 мин наблюдают процесс кристаллизации.

При необходимости опыт можно повторить.

Демонстрация кинофрагмента «Рост кристаллов»

Кинофрагмент «Рост кристаллов» ценен тем, что в нем с помощью микросъемки заснят процесс кристаллизации и показан рост кристаллов, т. е. показаны явления, недоступные непосредственному наблюдению.

Фильм является как бы дополнением к демонстрационным опытам.

Опыт 88. Кристаллизация переохлажденной жидкости

Цель опыта. Показать, что вещество может находиться в жидком состоянии при температуре ниже точки плавления и переходит при соответствующих условиях из этого состояния в кристаллическое состояние скачком.

Плоскодонную колбу вместимостью 250 мл наполняют примерно до горлышка кристаллами гипосульфита (кристаллогидрат натрия). Опустив колбу в сосуд с горячей водой, гипосульфит плавят. После того как гипосульфит расплавится, колбу наклоняют в разные стороны (как бы ополаскивают гипосульфитом). Это делается для того, чтобы на стенках колбы не осталось нерасплавленных кристалликов гипосульфита.

Закрыв колбу пробкой, в которую вставлена стеклянная трубка с оттянутым нижним концом, гипосульфит охлаждают под краном с холодной водой. После охлаждения колбу проецируют на экран так, чтобы был достаточно хорошо виден нижний конец трубки (рис. 142).

Бросив через трубку крупный кристалл гипосульфита, наблюдают, что, как только он останавливается у нижнего края трубки, начинается кристаллизация гипосульфита.

Гипосульфит кристаллизуется в начале опыта в трубке, а затем и в колбе.

В процессе опыта, если колбу закрыть пробкой герметично, давление воздуха в ней будет меняться. Чтобы этого не произошло, в пробке надо сделать наклонное отверстие. Прямое отверстие делать нельзя, так как попавшая через него пылинка может вызвать преждевременную кристаллизацию.

Колба с гипосульфитом может служить много лет, но перед каждым новым употреблением в нее следует наливать немного воды.

Опыт 89. Пластическая деформация твердого тела

Цель опыта. Показать учащимся пластическую (остаточную) деформацию и явления, ее сопровождающие.

1. Металлический стержень, предназначенный для демонстрации его пластической деформации, закрепляют в приспособление для растяжения стержня, устройство которого показано на рисунке 143.

Установив приспособление между поршнем гидравлического пресса и станиной, объясняют учащимся устройство установки и, затемнив аудиторию, проецируют (в теневой проекции) стержень на экран. Работая рычагом насоса, растягивают стержень до появления на нем едва заметного сужения — шейки. Обратив на это явление внимание учащихся, открывают кран для спуска масла из большого цилиндра пресса. Замечают, что образовавшаяся на стержне шейка сохраняется и после снятия деформирующей силы. Сообщают, что такая деформация называется пластической или остаточной.

2. Если в кабинете физики есть электрический термометр, то его датчик прикрепляют изоляционной лентой чуть выше образовавшейся шейки и продолжают опыт. Замечают, что шейка увеличивается, а термометр показывает повышение температуры. Если в кабинете нет электрического термометра, то факт изменения температуры стержня можно попросить засвидетельствовать одного из учеников.

В нужный момент (определение которого приходит с опытом в постановке демонстрации) надо прекратить накачку масла в пресс. Обращают внимание учащихся на то, что шейка увеличивается и наступает разрыв стержня без увеличения деформирующей силы.

3. Демонстрация кинофрагментов «Деформация растяжения и сжатия» и «Деформация сдвига»

Опыт 90. Адиабатное сжатие воздуха

Цель опыта. Показать, что при адиабатном сжатии температура воздуха повышается.

1. Толстостенную склянку с широким горлом и тубусом плотно закрывают резиновой пробкой, через которую внутрь введен датчик от электрического термометра (рис. 144). Тубус соединяют с ручным насосом. Нагнетая в склянку воздух, замечают, что температура воздуха внутри повышается. Напоминают учащимся, что с аналогичным явлением они сталкивались, накачивая воздух в шины велосипедного колеса.

2. На дно прибора «Воздушное огниво» (рис. 145) кладут небольшой кусочек ваты (или тополиного пуха), слегка смоченной серным эфиром (тополиный пух можно эфиром не смачивать). Привернув дно к цилиндру, в котором поршень поднят, резко ударяют по ручке поршня. Внутри цилиндра происходит вспышка паров эфира (или тополиного пуха).

Демонстрация кинофильма «Получение и применение сжатого воздуха»

В первой части фильма показано устройство компрессора, нагревание воздуха при сжатии, охлаждение компрессора и применение сжатого воздуха.

Опыт 91. Адиабатное расширение воздуха

Цель опыта. Показать, что при адиабатном расширении воздух охлаждается.

Стеклянный сосуд, использованный в опыте 90 (рис. 144), закрывают обычной (без датчика температуры) резиновой пробкой и ставят на край демонстрационного стола, расположенный ближе к классной доске. Для лучшей видимости сосуд освещают осветителем для теневой проекции, расположенным сзади и немного ниже сосуда.

Насосом накачивают в сосуд воздух до тех пор, пока из него не вылетит пробка. Воздух быстро выходит из сосуда и в результате расширения охлаждается. Это приводит к образованию в сосуде хорошо наблюдаемого тумана.

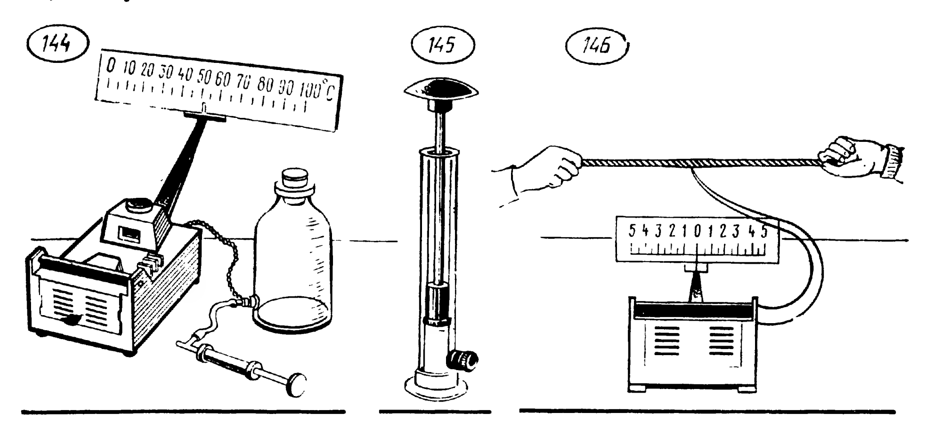
Для большей выразительности опыта перед демонстрацией дно сосуда следует слегка смочить водой.

Опыт 92. Адиабатное растяжение и сжатие резины

Цель опыта. Показать, что адиабатный процесс может происходить не только в газах. Познакомить учащихся с во многом поучительными и интересными свойствами резины и тем самым подсказать тему для дополнительной работы учащимся, интересующимся физикой.

Несколько предварительных советов

1. Обычно у учащихся создается ложное представление о том, что изученные ими термодинамические процессы применимы только к газам, на примере которых они с ними познакомились. Опыты, описанные ниже, помогут избежать этого, к сожалению частого, заблуждения.



2. Как это ни парадоксально звучит, но некоторые свойства резины близки к свойствам... газов. Приведем некоторые факты, подтверждающие сказанное.

а) Модуль упругости резины, как и газов, пропорционален абсолютной температуре и для некоторых сортов резины имеет один порядок, что и для газов (у резины 200 кПа, а для газов при атмосферном давлении 100 кПа).

б) Объем газа может быть изменен во много раз. Длина резинового стержня может быть изменена во много раз.

в) Газ нагревается при адиабатном сжатии, а резина нагревается при адиабатном растяжении.

г) Газ охлаждается при адиабатном расширении, а резина охлаждается при адиабатном сжатии.

д) Сила упругости газа пропорциональна его сжатию, а сила упругости резины — растяжению.

1. Для опыта необходимо вырезать из оболочки детского воздушного шара ленту шириной 5—6 см. К середине ленты нитками прикрепить датчик от демонстрационного термометра. После этого ленту свернуть вдоль ее длины в трубку так, чтобы проводники от датчика вышли в середине длины трубки (рис. 146).

Быстрым движением обеих рук растягивают резину и замечают, что ее температура повысилась.

Дав резине некоторое время для остывания, предоставляют ей возможность быстро сжаться. Замечают, что температура резины понижается.

2. Если в физическом кабинете нет демонстрационного термометра, надо перед уроком нарезать из оболочки детского воздушного шара столько полосок, сколько пар учащихся в классе. Раздав полоски, следует дать возможность учащимся самим проделать опыт, используя в качестве датчика температуры... свою собственную щеку или руку товарища, обнаженную до локтя.

Опыт 93. Принцип работы теплового двигателя (опыт Дарлинга)

Цель опыта. Показать, что для работы теплового двигателя необходимо иметь нагреватель и холодильник.

В стеклянный цилиндр высотой не менее 20—25 см и диаметром не менее 5 см наливают воду, нагретую почти до кипения. Уровень воды не должен доходить до края на 3—4 см.

Сверху в воду капают 3—4 капли анилина. Капли тонут, так как плотность анилина больше плотности нагретой воды. Нагревшись, капли всплывают, так как плотность нагретого анилина меньше плотности воды.

Через некоторое время анилин охлаждается и, став более плотным, чем вода, вновь опускается на дно. Затем процесс повторяется до тех пор, пока температура воды не понизится настолько, что плотность анилина станет больше плотности воды.

Опыт будет продолжаться неограниченно долго, если цилиндр поставить на низкотемпературную электрическую плитку.

Следует иметь в виду, что анилин ядовит, а потому сосуд с ним не следует оставлять открытым.

Раздел III
ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

§ 12. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Успешная постановка электростатических опытов зависит от ряда условий, которые обычно несущественны для демонстраций из других разделов физики. Это объясняется тем, что в электростатических опытах используются незначительные заряды и высокие разности потенциалов. Для предотвращения утечки зарядов в этих условиях необходимо принимать ряд мер предосторожности.

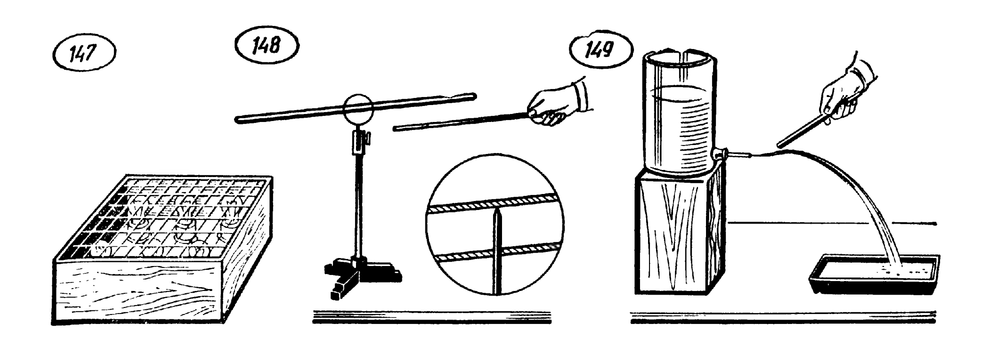
Прежде всего необходимо при изготовлении электростатических приборов использовать хорошие изоляционные материалы. Наиболее подходящим материалом для изготовления изолирующих частей электростатических приборов является органическое стекло: оно прочно, долговечно, обладает исключительно высоким удельным сопротивлением и дешево.

Но хороший изолятор становится плохим, если на его поверхность осядут водяные пары, особенно при наличии на поверхности пыли. В этом случае поверхностное сопротивление изоляционного материала уменьшается, что приводит к большой утечке электрических зарядов. В таких условиях не удаются даже простейшие опыты. Поэтому перед постановкой демонстрационных опытов по электростатике необходимо приборы тщательно протереть и просушить. Для этой цели в кабинете следует иметь специальный обогреватель (рис. 147), представляющий собой ящик размером 30×50×15 см, обитый внутри асбестом или асбошифером. На дне ящика установлено 6—8 электрических ламп мощностью 25—40 Вт. Сверху ящика укреплена редкая сетка, на которую ставят приборы для просушки. Лампы включают в 3—4 параллельные группы по 2 последовательно, вследствие чего лампы светят вполнакала, обеспечивая достаточное количество тепла.

Если в кабинете нет специального обогревателя, можно использовать электрические плитки, обогревательные рефлекторы и т. д.

Однако просушка приборов перед демонстрацией может оказаться недостаточной, если воздух в аудитории чрезмерно влажен (что часто бывает на последних уроках). В этом случае во время перемены необходимо тщательно проветрить кабинет, даже если на улице идет дождь, так как осенью при низкой температуре атмосферы и сравнительно высокой температуре в помещении абсолютная влажность воздуха в кабинете больше, чем на улице.

Особенно плохо удаются демонстрации, если воздух в аудитории ионизован, что может быть в результате горения газа, рабо-



ты высоковольтного выпрямителя. В этом случае также необходимо тщательно проветрить аудиторию.

Загрязненная поверхность изолирующих частей электростатических приборов обладает хорошей электропроводностью, поэтому при сильном загрязнении изолирующих поверхностей их следует вымыть теплой водой с мылом и тщательно просушить.

Поверхность эбонитовых частей старых электростатических приборов под действием света изменяет свою структуру, становится зеленовато-бурого цвета, и при этом значительно понижается удельное сопротивление материала. Поэтому электростатические приборы с эбонитовыми изоляторами необходимо хранить в темных отделениях шкафа, а если этого почему-либо сделать нельзя, то необходимо изготовить чехлы из темного материала или черной бумаги. Если же, несмотря на принятые меры, эбонит побуреет, то надо наждачной бумагой снять верхний слой и поверхность отполировать.

При пользовании палочками, изготовленными из диэлектрика, следует иметь в виду, что наэлектризованную палочку часто трудно полностью разрядить. Для полного разряда рекомендуется палочку быстро пронести через пламя спиртовки или газовой горелки.

В случае использования стеклянных изоляторов надо иметь в виду, что стекло гигроскопично. Для уменьшения утечки зарядов через стеклянные изоляторы полезно конец, за который берут их, смазать вазелином или же сделать на поверхности несколько вазелиновых кольцеобразных полос.

Не рекомендуется пытаться получать очень большие заряды, так как при передаче их электрометру или кондуктору проскочившая между телом и палочкой искра может исказить результат опыта.

Если соблюдать перечисленные выше предосторожности, все описанные ниже электростатические опыты получаются сразу, без предварительной подготовки.

Опыт 94. Электризация тел

Цель опыта. Показать, что электризуются все тела. Нельзя ограничиться только демонстрацией электризации диэлектриков, не-

обходимо показать и электризацию проводников. Точно так же нельзя ограничиться показом электризации твердых тел, а надо показать и электризацию жидкостей.

1. Электризация диэлектриков может быть убедительно показана с помощью, например, стеклянной, эбонитовой, сургучной палочек длиной 40—60 см (при меньшей длине палочек опыт получается менее выразительным), которых необходимо несколько раз коснуться мехом, кожей, бумагой или шелком. Лучше всего опыт получается при прикосновении мехом к палочке из органического стекла. Необходимо обратить внимание учащихся на то, что причиной электризации служит прикосновение. После того как это будет достаточно убедительно показано на опыте, можно заменить прикосновение трением, рассматривая последнее как многократное соприкосновение.

В первых опытах по электризации тел в качестве индикатора лучше всего использовать диэлектрическую стрелку (например, из дерева), установленную на игле с помощью стеклянного подшипника от магнитной стрелки, или кусочек ваты, подвешенный на длинной тонкой нити.

2. Электризацию металлов проще всего показать следующим образом: металлическую лопаточку потереть о лопаточку, сделанную из органического стекла. Если после этого лопаточки поднести к стрелке или к клочку ваты, то будет заметным притяжение этих предметов к лопаточкам.

Демонстрацию электризации жидкости следует показать позже, при изучении одновременной электризации обоих соприкасающихся тел.

Первые опыты по электризации тел должны убедить учащихся в том, что все вещества могут быть наэлектризованы.

Опыт 95. Притяжение наэлектризованным телом ненаэлектризованных тел

Цель опыта. Показать учащимся, что наэлектризованные тела притягивают все тела — и легкие, и тяжелые, твердые, жидкие и газообразные. Опыты должны помочь преодолеть представления учащихся о том, что наэлектризованные тела притягивают только легкие тела.

1. В центре тяжести отрезка водопроводной трубы диаметром 20—30 мм и длиной 2—3 м надо просверлить отверстие диаметром 5—6 мм (рис. 148), после этого трубу насаживают на острие, укрепленное в изолирующем штативе. Поднося параллельно трубе наэлектризованную палочку, можно заставить трубу вращаться в том или ином направлении. Перед показом опыта необходимо обратить внимание учащихся на сравнительно большую массу трубы (3—4 кг). Опыт объясняется на основании второго закона Ньютона: при малых силах трения небольшая сила электростатического притяжения сообщает телу ускорение:

$$a=\frac{F}{m};$$

в результате этого труба приобретает скорость $v=at$, где t — время взаимодействия трубы и наэлектризованной палочки.

2. Притяжение наэлектризованным телом жидкости можно показать при помощи сосуда с узким отверстием у дна, в который нужно налить воду, забеленную мелом. В отверстие должна быть вставлена трубка с краном. Против отверстия устанавливают противень или большую кювету. Если открыть кран, то на черном фоне доски (или экрана) будет отчетливо видна струя вытекающей жидкости (рис. 149). Сверху к струе подносят наэлектризованную палочку, струя при этом резко изгибается вверх и разбрызгивается.

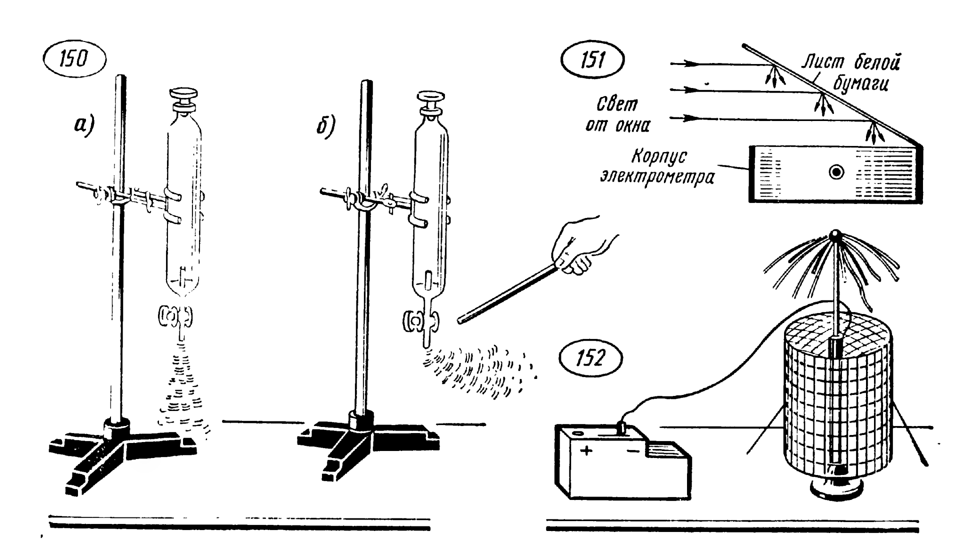
3. Для демонстрации притяжения газов в специальный сосуд (рис. 150, *а*) насыпают медные опилки и заливают азотной кислотой. В результате реакции между медью и кислотой выделяется оксид азота (II) NO_2, имеющий ярко-бурый, хорошо заметный на белом фоне цвет. Открыв кран, наблюдают вытекание оксида азота (II) из сосуда. Поднося к струе газа наэлектризованную палочку, замечают притяжение к ней газа (рис. 150, *б*).

При постановке этого опыта следует иметь в виду, что вдыхание значительных количеств газа вредно, поэтому опыт нужно проводить быстро и в конце урока. В перемену необходимо хорошо проветрить аудиторию.

Опыт 96. Проводники и диэлектрики

Цель опыта. Ввести первоначальные представления о проводниках и изоляторах (диэлектриках).

В изолирующие штативы вставляют шары из комплекта, прилагаемого к электрометрам, и устанавливают штативы по концам де-



монстрационного стола. Против одного из шаров помещают легкую алюминиевую (или деревянную) стрелку.

Соединив шары проволокой, электризуют с помощью палочки шар, около которого нет стрелки. Замечают, что стрелка около второго шара отклонилась. Делают вывод, что электричество передалось от одного шара к другому по проволоке.

Заменив проволоку шелковой или капроновой нитью, демонстрируют, что в этом случае стрелка около второго шара остается в покое. Следовательно, по капроновой (шелковой) нити электричество не передается.

Полезно несколько видоизменить опыт: посредине проволоки включить неоновую лампочку типа МН-5.

Для того чтобы не делать специального проводника, можно использовать диполь из комплекта приборов Б. С. Зворыкина, в патрон которого нужно ввернуть неоновую лампочку МН-5. Лампочка ярко вспыхивает при электризации первого шара.

Опыт 97. Взаимодействие наэлектризованных тел

Цель опыта. С методической точки зрения целесообразно разделить во времени изучение взаимодействия одноименно заряженных тел и взаимодействие разноименно заряженных тел. Это вызвано тем, что для изучения взаимодействия разноименно наэлектризованных тел учащиеся должны владеть понятием заряда и знать о существовании двух видов заряда. Для изучения же взаимодействия одноименно наэлектризованных тел достаточно знать лишь явление электризации.

Для демонстрации явления взаимного отталкивания одноименно заряженных тел берут электрический султан и электризуют его при помощи палочки. При этом листочки султана расходятся во все стороны. Затем повторяют опыт с бумажными (или станиолевыми) гильзами. Из опытов следует вывод: наэлектризованные тела взаимно отталкиваются.

Опыт 98. Устройство и принцип действия электрометра

Цель опыта. Подготовить учащихся к восприятию учебного материала, который будет изучаться позже.

Знакомить учащихся с устройством электрометра следует после того, как было изучено взаимодействие наэлектризованных тел. Показав учащимся электрометр с листочками и стрелочный, необходимо рассказать им, что первый электрометр был построен петербургским физиком Георгом Рихманом. Рассказ хорошо сопроводить демонстрацией диапозитива.

Чтобы у демонстрационного электрометра лучше была видна стрелка, сзади электрометра полезно прикрепить белый бумажный экран, который во время демонстрации нужно расположить под углом 45—50° к стеклу так, чтобы свет из окна (или осветителя) падал на бумагу и отражался на заднем стекле прибора (рис. 151).

Необходимо обратить внимание учащихся на то, что шкалу электрометра можно проградуировать.

Опыт 99. Делимость электричества

Цель опыта. Ввести первоначальное представление о дискретности электрического заряда.

Лучше всего делимость электричества можно показать следующим образом: из двух стоящих на столе одинаковых электрометров один электризуют. Соединяют наэлектризованный электрометр с ненаэлектризованным при помощи разрядника, при этом показания стрелки наэлектризованного электрометра уменьшаются на несколько делений, а показания стрелки второго электрометра увеличиваются на такое же число делений. Убрав соединительный проводник, разряжают один из электрометров и вновь повторяют опыт. Проделав опыт 2—3 раза, делают вывод о том, что электричество делимо. Для количественной характеристики вводится понятие заряда. О заряде можно судить по отклонению стрелки электрометра.

Опыт 100. Распределение зарядов на проводнике

Из факта отталкивания одноименных электрических зарядов непосредственно вытекает, что при электризации проводника заряды должны находиться на его поверхности, однако это явление важно показать на опыте.

Для этого на изолирующем штативе устанавливают металлический стержень высотой 25—30 см, к которому в два «этажа» прикреплены бумажные полоски. Присоединив стержень к высоковольтному выпрямителю, электризуют его и наблюдают отклонение листочков обоих «этажей».

Взяв демонстрационный цилиндр Фарадея за изолирующую ручку, надевают его на стержень (рис. 152). Вновь электризуют стержень и замечают, что листочки, находящиеся внутри цилиндра, не расходятся, а листочки на боковой поверхности цилиндра и на внешней части стержня расходятся.

Из опыта непосредственно видно, что электрические заряды располагаются на поверхности проводника. Опыт полезно видоизменить. На стержень демонстрационного электроскопа надевают полый шар из набора, а затем электроскоп сильно электризуют. При помощи пробного шарика и другого электроскопа убеждаются в том, что на поверхности шара есть электрические заряды, а внутри нет.

Опыт 101. Полная передача заряда проводником

Цель опыта. Познакомить учащихся со способом полной передачи электрического заряда одним проводником другому. Способ этот существенно важен для понимания последующего учебного материала.

Так как электрические заряды находятся только на поверхности проводника и отсутствуют внутри его, то можно продемонстрировать способ полной передачи электрического заряда одного проводника другому.

Для демонстрации этого факта поступают следующим образом: на стержни демонстрационных электрометров надевают полые шары. Наэлектризованным пробным шариком касаются внешней поверхности шара, находящегося на одном электрометре, и наблюдают отклонение его стрелки. Затем, не электризуя вновь шарика, то же самое делают с другим электрометром. Стрелка второго электрометра также отклоняется. Из опыта делают вывод, что при прикосновении к наружной поверхности шара заряд с пробного шарика полностью не исчез.

Разрядив электрометры, вновь электризуют пробный шарик, помещают его внутрь полого шара одного из электрометров и замечают отклонение стрелки, затем вынимают пробный шарик, опускают его внутрь полого шарика, стоящего на втором электрометре, и убеждаются, что на шарике зарядов не осталось.

Опыт 102. Два рода электрических зарядов

Наэлектризованную палочку из органического стекла устанавливают на игле, вставленной в изолирующие штативы (для этого в палочке в месте, где расположен центр тяжести, надо просверлить на глубину $^4/_5$ диаметра отверстие), и подносят к ней вторую наэлектризованную палочку из органического стекла. Замечают отталкивание палочки, установленной на острие, исходя из чего делают вывод, что эта палочка наэлектризована.

Аналогичный опыт проделывают с эбонитовой палочкой. Также делают вывод о том, что эбонитовая палочка наэлектризована.

Затем, установив наэлектризованные палочки из органического стекла и эбонита на иглах, вставленных в штативы, перемещают их навстречу друг другу и замечают взаимное притяжение. Результаты наблюдений позволяют сделать предположение о том, что электрические заряды этих палочек различны.

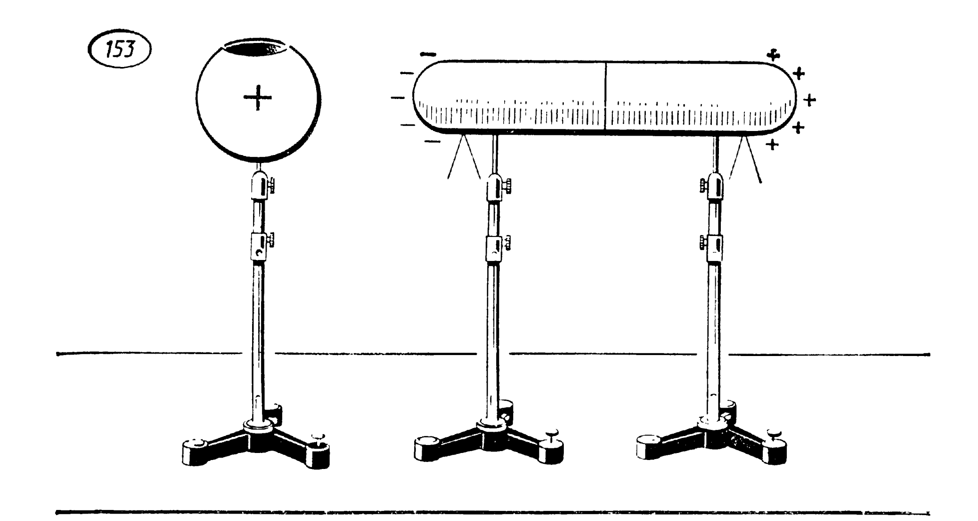
Далее снимают обе палочки с острия и электризуют ими электроскопы (каждой один). Электроскопы по возможности необходимо электризовать в одинаковой степени. Соединяют электроскопы разрядником, при этом происходит нейтрализация зарядов (не уничтожение).

Факт нейтрализации зарядов дает основание для того, чтобы говорить о зарядах с противоположными свойствами и приписать одним из них знак «плюс», другим — «минус».

Опыт 103. Одновременная электризация обоих соприкасающихся тел

Цель опыта. Показать учащимся, что при соприкосновении двух тел на одном появляется положительный, а на другом — равный ему отрицательный электрический заряд.

Для демонстрации этого явления берут две пластинки на изолирующих ручках и, потерев их друг о друга, вносят в полые шары, насаженные на стержни электрометров. При этом стрелки электроскопов отклоняются на одинаковые углы, что указывает на одинаковые заряды на обеих пластинках. Соединяя электроскопы



при помощи разрядника, наблюдают нейтрализацию зарядов, что указывает и на их разноименность, и на их равенство.

Из набора пластин, выпускаемого промышленностью, можно составить три пары пластин и проделать опыты с каждой из них, что придаст демонстрации более доказательный характер.

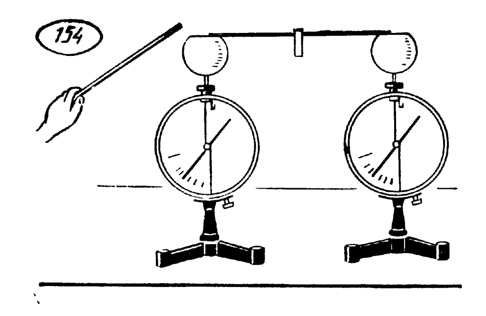
При этом демонстрацию можно несколько видоизменить. Потерев пластины друг о друга, вносят их внутрь одного шара одновременно и наблюдают отсутствие заряда. Затем вынимают пластины, вносят в шары, установленные на разных электрометрах, и убеждаются в наличии зарядов. Тот факт, что в первой стадии опыта присутствие зарядов не было обнаружено, говорит о том, что заряды имеют противоположный знак, но равны по модулю.

Опыт 104. Явление электростатической индукции

Цель опыта. Показать учащимся, что под действием электростатического поля в проводниках происходит перераспределение зарядов, и подготовить их к восприятию (на следующем этапе обучения) закона сохранения заряда.

1. Для демонстрации явления электростатической индукции берут два кондуктора, установленные на отдельных изолирующих подставках, и ставят так, чтобы они соприкасались своими плоскими краями (рис. 153). Подносят к одному из кондукторов наэлектризованный шар, но не касаются им, при этом станиолевые листочки, прикрепленные к обоим кондукторам, расходятся. Это свидетельствует о том, что кондукторы наэлектризовались. Отодвигая шар, замечают, что листочки сошлись. Следовательно, кондукторы электризуются только в присутствии наэлектризованного шара.

Вновь проделывают первую часть опыта и, не убирая наэлект-



ризованного шара, отодвигают один из кондукторов. Затем, убрав шар, убеждаются в том, что в этом случае кондукторы сохранили электрический заряд, появившийся при поднесении наэлектризованного шара. Сдвинув вновь кондукторы, убеждаются, что заряды на кондукторах нейтрализуют друг друга, следовательно, заряды имели противоположные знаки.

На основании опыта делают вывод о том, что электрические заряды противоположных знаков были в ненаэлектризованном проводнике в равных количествах и нейтрализовали друг друга. При поднесении наэлектризованного шара в проводнике произошло перераспределение зарядов. При удалении шара заряды вновь распределились по всему проводнику. На третьей стадии опыта, раздвинув кондукторы, мы сохранили разделение зарядов в проводнике, происшедшее под влиянием наэлектризованного тела.

2. Собирают установку, изображенную на рисунке 154. Поднося к одному из шаровых кондукторов наэлектризованную палочку, замечают отклонение стрелок электрометров. Опыт свидетельствует об электризации шаров, хотя наэлектризованная палочка не касается шаров. Относя палочку на значительное расстояние от шаров, наблюдают, что стрелки обоих электрометров возвращаются на нулевое деление.

Повторяют первую часть опыта и, не убирая наэлектризованной палочки, снимают (за изолирующую ручку!) перемычку. Отодвинув наэлектризованную палочку от электрометров, обнаруживают, что стрелки обоих электрометров остались в прежних положениях. Опыт свидетельствует, что произошла электризация шаров.

Чтобы выяснить, какими зарядами наэлектризовались шары, их вновь соединяют перемычкой. Стрелки электрометров одновременно возвращаются на нулевые деления. Опыт свидетельствует о том, что заряды шаров имели равные заряды противоположных знаков.

Повторяют и продолжают опыт. Для этого после снятия перемычки касаются ближнего шара наэлектризованной палочкой (обратите внимание: палочкой надо лишь коснуться шара!). Замечают, что при приближении шарика к шару показания электрометра сначала увеличиваются, а затем уменьшаются обычно до нуля. Опыт свидетельствует, что знак электрического заряда этого шара противоположен заряду палочки.

Подносят палочку к дальнему шару и наблюдают, что при соприкосновении ее с шаром показания электрометра, соединенного с этим шаром, увеличиваются. Опыт свидетельствует, что электрический заряд этого шара одноименен с зарядом палочки.

Опыт 105*[1]. Пьезоэлектричество

Цель опыта. Познакомить учащихся с обычно не изучаемым в средней школе способом электризации тел, который нашел широкое применение в современной технике (например, звукосниматели, микрофоны).

Прямой пьезоэлектрический эффект можно рассматривать как один из способов электризации. Разделение зарядов при деформации кристалла показывают следующим образом. Из кристалла сегнетовой соли вырезают параллелепипед, размеры которого должны быть не меньше $1{,}5 \times 4 \times 4$ см.

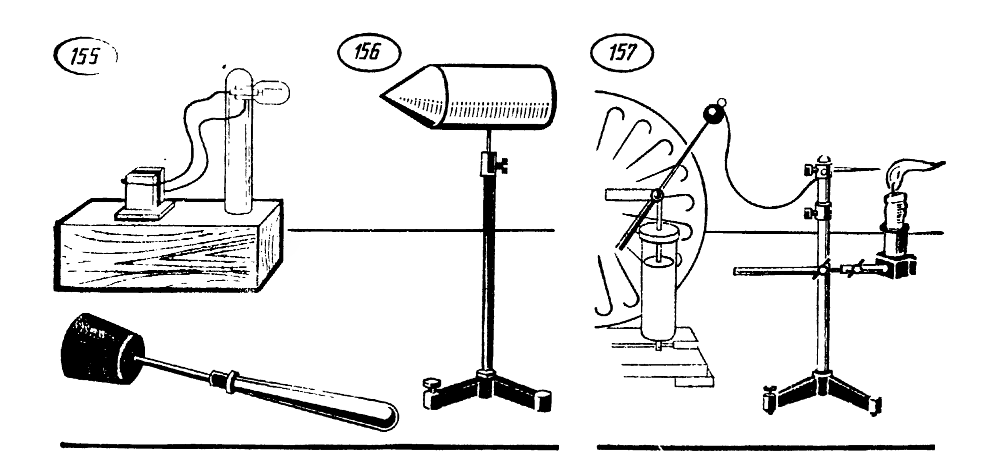
Вырезанный таким образом кристалл зажимают широкими гранями между двумя вертикальными пластинами, укрепленными на подставке из органического стекла. Пластины соединены через клеммы с маломощной неоновой лампочкой (рис. 155).

При ударе по верхней грани кристалла резиновым молоточком наблюдают кратковременную вспышку маломощной неоновой лампочки. Это свидетельствует о появлении на противоположных гранях кристалла электрических зарядов различных знаков.

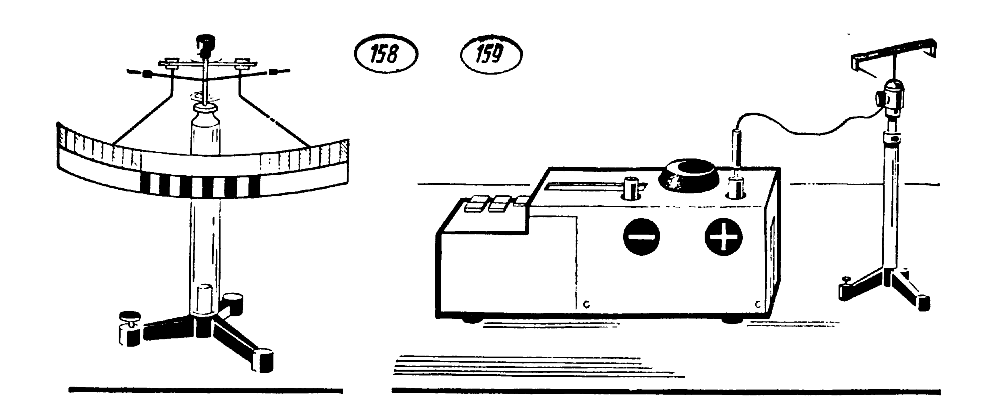
Опыт. 106. Распределение зарядов на поверхности проводника

Цель опыта. Показать учащимся, что поверхностная плотность электрических зарядов на проводнике зависит от его кривизны.

Для демонстрации различной плотности электрических зарядов на поверхности проводника сложной формы берут цилиндрический проводник с конусообразной выступающей и внутренней торцовой частями (рис. 156). Наэлектризовав проводник, прикасаются к различным точкам поверхности пробным шариком, перенося каждый раз заряд на электрометр.



[1] Знаком (*) отмечены опыты, демонстрация которых целесообразна на факультативных занятиях и в классах с углубленным изучением физики.



Касаясь шариком внутренней конической поверхности и затем электроскопа, замечают, что стрелка последнего не отклоняется, что указывает на отсутствие электрических зарядов на внутренней поверхности. Перенос зарядов с цилиндрической части вызывает каждый раз отклонение стрелки примерно на одинаковые углы, что свидетельствует о примерно одинаковой плотности электрического заряда на этой части проводника.

Перенося заряды с выступающей конической поверхности, замечают, что по мере приближения к вершине конической поверхности стрелка электрометра отклоняется каждый раз на больший угол, следовательно, поверхностная плотность электрического заряда на выступающей конической части проводника увеличивается.

Опыт 107. Стекание зарядов с острия

Цель опыта. Познакомить учащихся с интересным физическим явлением, которое используется и учитывается в современной технике (например, электростатические гребни на типографских машинах, громоотводы).

Если проводник имеет острые выступающие части, то плотность электрических зарядов на них может стать столь большой, что молекулы воздуха, находящиеся вблизи острия, начнут ионизоваться, приобретая заряд, одноименный с зарядом острия.

В результате этого возникнет поток ионов, направленный от острия (электрический ветер). Подобный поток можно наблюдать, соединив проводник, установленный на изолирующем штативе, с высоковольтным выпрямителем или электрофорной машиной (рис. 157). При включении выпрямителя пламя свечи отклоняется и свеча может погаснуть.

Чтобы показать, что от острия движется поток заряженных частиц, перед острием помещают шаровой проводник, насаженный на второй электрометр. При включении высоковольтного выпрямителя (или при вращении дисков электрофорной машины) второй электрометр заряжается за счет ионного потока. Если соединить

оба шара разрядником, то можно увидеть, что стрелки электрометров отклоняются в одну сторону, следовательно, заряды их одинаковы по знаку.

Отталкивание ионов от острия показывают с помощью «колеса Франклина» (рис. 159), которое при электризации начинает вращаться в сторону, противоположную направлению стекания ионов.

В процессе демонстрации этого опыта целесообразно вспомнить с учащимися закон сохранения импульса. Это не потребует значительных затрат времени и вместе с тем позволит повторить один из основных законов механики.

Опыт 108. Иллюстрация справедливости закона Кулона

Справедливость закона Кулона можно проиллюстрировать с помощью электростатического маятника (рис. 158, 160). Маятник представляет собой уравновешенную диэлектрическую стрелку, имеющую возможность вращаться вокруг вертикальной оси. На одном конце стрелки укреплен очень легкий полый пластмассовый, снаружи обмедненный шарик диаметром 15 мм, а на другом — противовесы. При помощи двух спиральных пружин маятник установлен в равновесии. Положение маятника определяется по шкале.

Арретир позволяет стрелку установить на нулевое деление. Для того чтобы можно было подключать шарик маятника к источнику высокого напряжения, ось маятника с помощью тонкого проводника соединяют с шариком. Стойка прибора изготовлена из органического стекла. Основание маятника снабжено уравнительным винтом.

Установка в собранном виде показана на рисунке 160.

Наэлектризовав шарик маятника и шарик, укрепленный в изолирующем штативе, располагают их настолько близко друг к другу, чтобы сила взаимодействия была достаточной для отклонения стрелки на 4—8 делений шкалы. После этого касаются шарика маятника третьим шариком такого же размера (укрепленным на изолирующей ручке!) и, убрав последний, замечают, что сила взаимодействия уменьшилась примерно в 2 раза (расстояние между шариками оставляют постоянным).

Уменьшив аналогичным образом заряд шарика в 4 раза, замечают, что и сила взаимодействия уменьшилась примерно в 4 раза. Делают вывод о том, что сила взаимодействия пропорциональна одному из зарядов:

$$F \sim q_1 \text{ (при } r=\text{const).}$$

Вновь электризуют оба шарика и, меняя заряд неподвижного шарика, убеждаются в том, что сила взаимодействия пропорциональна второму заряду:

$$F \sim q_2 \text{ (при } r=\text{const).}$$

С помощью перемычки из очень тонкой проволоки соединяют шарик маятника с осью прибора. Подключив оба шарика к высо-

ковольтному выпрямителю, что дает возможность поддерживать на них постоянные заряды, выясняют зависимость силы взаимодействия от расстояния. Для успешного проведения опыта существенно взаимное расположение маятника, неподвижного шарика, высоковольтного выпрямителя и подводящих проводников.

Установив шарики, увеличивают напряжение выпрямителя до такого значения, при котором шарик маятника отклонится на максимальное число делений. Уменьшая расстояние между шариками в 2 и 3 раза, убеждаются, что сила взаимодействия увеличивается примерно в 4 и 9 раз. Делают вывод, что сила взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния: $F \sim \frac{1}{r^2}$. (Здесь уместно разъяснить учащимся, что обратно пропорциональная зависимость силы взаимодействия от квадрата расстояния не может быть точно подтверждена опытом. Кулон гениально догадался, что такая зависимость существует. Справедливость ее доказывается справедливостью тех выводов и следствий из закона, которые подтверждены экспериментально.)

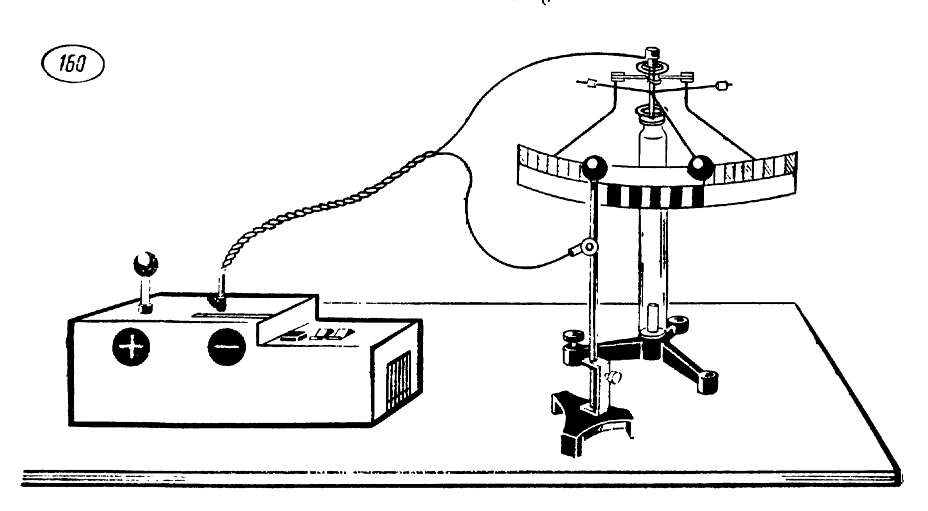
Объединяя результаты наблюдений, записывают, что

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

или, переходя к знаку равенства,

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Здесь нужно объяснить, что коэффициент пропорциональности k зависит от выбора единиц для измерения зарядов, силы и расстояния. Затем сообщают, что коэффициент k принято заменять другим постоянным коэффициентом $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$. В этом случае форму-



ла для подсчета силы взаимодействия заряженных тел примет следующий вид:

$$F=\frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.$$

Появление множителя 4π объясняют шаровой симметрией взаимодействия заряженных тел.

Опыт 109. Проявления электростатического поля

Цель опыта. Показать реальные проявления электростатического поля, облегчить учителю работу по введению нового для учащихся понятия электростатического поля, а ученикам помочь правильно воспринять это понятие. Не надо опасаться некоторой поверхностности этих представлений на данном этапе изучения явления: это лишь самые первые представления, которые в последующем будут развиваться и углубляться.

Действие электрического поля на диэлектрик показывают с помощью легкой стрелки, изготовленной из диэлектрика и укрепленной на острие иглы. Установив стрелку между кондукторами высоковольтного выпрямителя, замечают, что при включении последнего стрелка ориентируется.

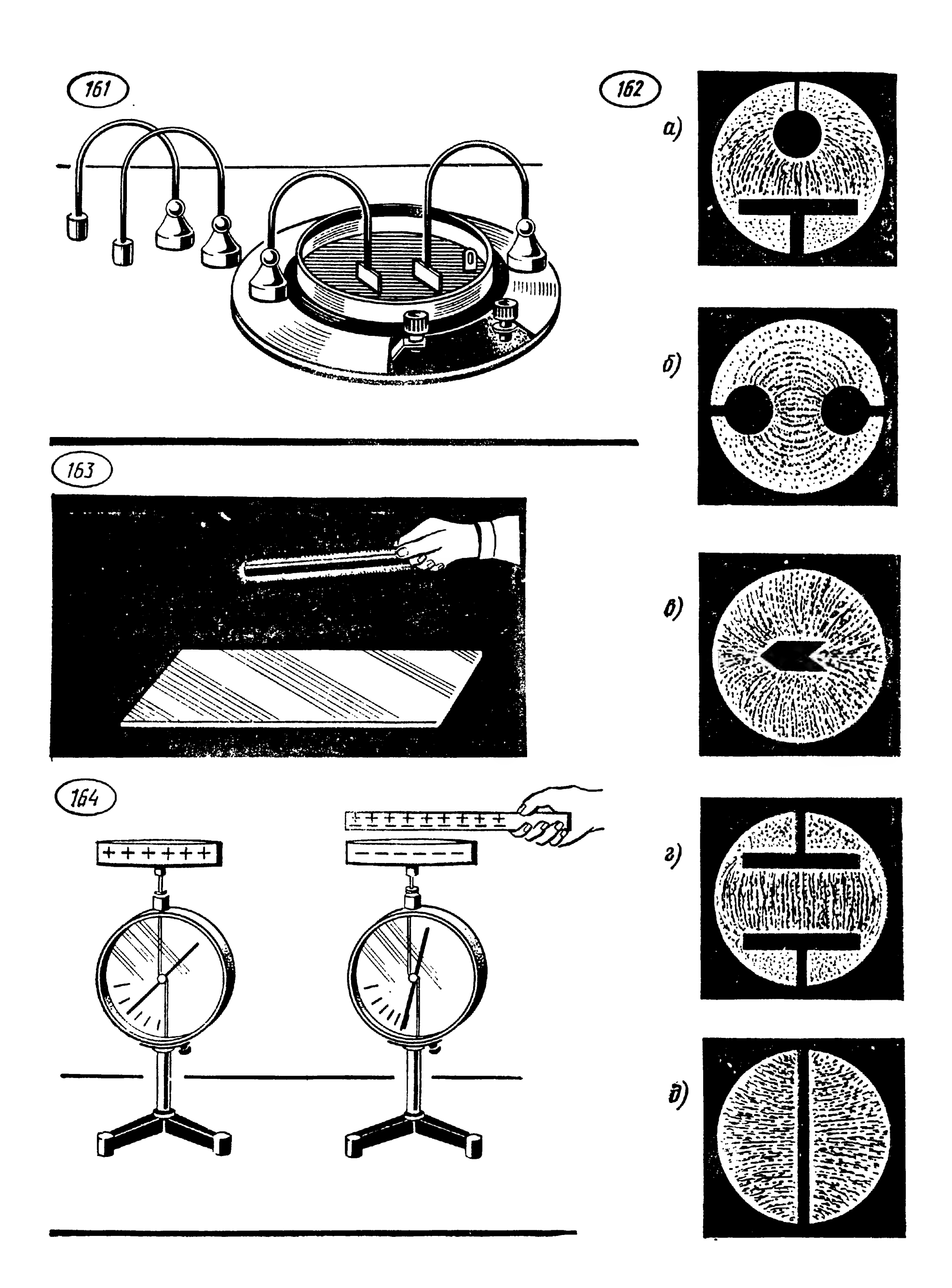
Затем, наэлектризовав палочку из органического стекла, помещают ее на острие иглы, подносят к ней вторую наэлектризованную палочку и наблюдают их взаимодействие.

После демонстрации этих опытов перед классом ставится вопрос: как передается действие наэлектризованного тела на другие тела? Делается предположение, что вокруг наэлектризованного тела что-то есть. Вот это «что-то» и называют электрическим полем. Не надо бояться такого рыхлого и аморфного определения поля, ибо это — самое первое определение и, естественно, самое несовершенное. Дальнейшая задача учителя будет заключаться в конкретизации этого понятия.

Чтобы конкретизировать представления учащихся о поле, надо показать несколько картин поля, полученных с помощью кристалликов гипса или гидрохинона. В кювету для демонстрации картин электрических полей (рис. 161) наливают трансформаторное масло, в котором во взвешенном состоянии находятся кристаллы гипса, гидрохинона. Установив необходимые электроды, включают выпрямитель и проецируют картину поля на экран (рис. 162). Полезно показать несколько картин различных электрических полей.

Включив высоковольтный выпрямитель или наэлектризовав лист органического стекла, перемещают вблизи него в затемненном классе безэлектродную трубку с разреженным газом (рис. 163), замечая свечение газа в трубке.

Для усиления наблюдаемого явления необходимо трубку перемещать в горизонтальной плоскости. Выключив выпрямитель (или убрав наэлектризованный лист), повторяют опыт и убеждают-


161
162
а)
б)
в)
г)
д)
163
164
+ + + + + + +
− − − − − −
+ + + + + + + + + +

ся в том, что газ в трубке не светится. Делают вывод, что причиной свечения разреженного газа в движущейся трубке является электрическое поле.

Опыт 110. Экранирующее действие проводников

Цель опыта. Показать учащимся возможность защиты от действия электростатического поля. Тем самым объяснить одно из отличий этого поля от гравитационного.

На стержень демонстрационного электроскопа насаживают большой шар из прилагаемого к электроскопу набора. Поднося к электроскопу какое-либо наэлектризованное тело, замечают электризацию через влияние.

Между электроскопом и наэлектризованным телом ставят вертикально заземленный достаточно большой металлический лист. При этом стрелка электроскопа возвращается на нулевое деление, что свидетельствует об экранирующем действии проводника. Убрав экран вновь замечают электризацию шара. Объяснив причину этого, повторяют опыт с незаземленным экраном. Экранирующего действия проводника не наблюдается. Этим подчеркивается важность заземления экранов. Экранирующее действие проводников широко используется в современной электро- и радиотехнике. В качестве иллюстрации демонстрируют экраны на радиолампах, электронно-лучевой трубке и на контурах радиоприемника.

Опыт 111. Поляризация диэлектриков

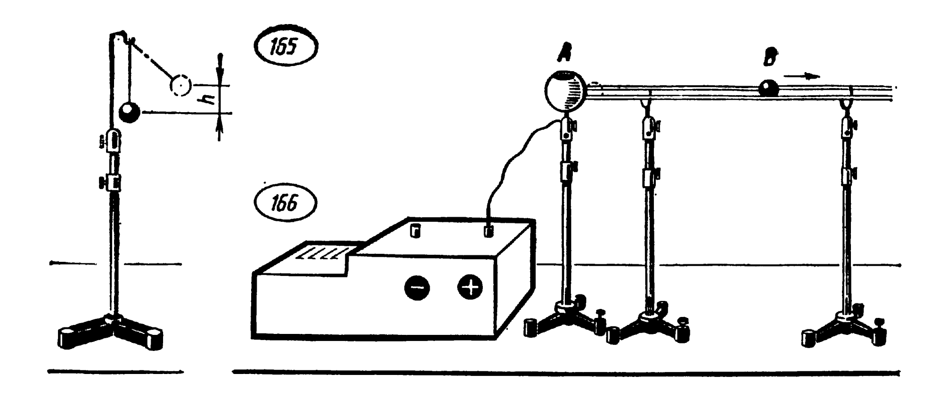
Цель опыта. Познакомить учащихся с новым для них явлением и подготовить почву для понимания роли диэлектрика в конденсаторах.

На стержень демонстрационного электроскопа насаживают диск из набора, прилагаемого к электроскопу. Зарядив электроскоп, кладут на диск толстый лист диэлектрика, площадь которого в 2—3 раза больше площади диска (рис. 164).

Диэлектрик при этом поляризуется. Электрическое поле поляризационных зарядов ослабляет поле диска, и угол отклонения стрелки электрометра уменьшается. После удаления диэлектрика стрелка электроскопа вновь отклоняется до первоначального положения.

Для успеха опыта существенное значение имеет чистота диэлектрика.

Поляризовавшийся в электрическом поле диэлектрик втягивается в область поля с наибольшей напряженностью. Для демонстрации этого явления лист диэлектрика, часть которого находится в промежутке между пластинами демонстрационного конденсатора, уравновешивают на рычажных весах. При включении высоковольтного выпрямителя органическое стекло втягивается в электрическое поле и равновесие весов нарушается.



Опыт 112. Энергия электростатического поля

Цель опыта. Углубить и расширить представления учащихся об электростатическом поле.

1. Проволоку с подвешенным к ней электростатическим маятником (рис. 165) укрепляют в изолирующем штативе. При одновременной электризации проволоки и шарика последний отходит от проволоки и поднимается по сравнению с начальным положением на высоту h.

Потенциальная энергия шарика увеличилась на mgh. Следовательно, какой-то вид энергии превратился в потенциальную энергию шарика. Естественно допустить, что это энергия электростатического поля.

2. Две хорошо вымытые и высушенные стеклянные трубки располагают с помощью изолирующих штативов горизонтально. У левого конца трубок устанавливают шаровой кондуктор A, соединенный с высоковольтным выпрямителем (рис. 166). Около кондуктора помещают омедненный шарик для игры в настольный теннис B так, чтобы он касался шара A. При включении высоковольтного выпрямителя оба шара электризуются и шарик B движется по направляющим трубкам от шара A.

Из опыта следует вывод о том, что электростатическое поле обладает энергией, которая в данном опыте переходит через работу против сил трения во внутреннюю энергию системы.

Первоначальные понятия учащихся об энергии электростатического поля необходимо развить и пополнить. В этом отношении большое значение имеет изучение вопроса об энергии заряженного конденсатора.

Опыт 113. Измерение разности потенциалов

Цель опыта. Разъяснить учащимся, что электрометр измеряет разность потенциалов между двумя точками электрического поля. Для этого надо показать картину электрического поля внутри электрометра.

В ванну для проекции картин электрических полей помещают модель электрометра, и на экран проецируется картина электрического поля внутри электрометра (рис. 167).

Сила, с которой электростатическое поле действует на элемент i стрелки электрометра, будет равна $f_i=q_iE_i$, где q_i — заряд элемента стрелки, E_i — напряженность поля в месте нахождения элемента объема стрелки.

Но так как $E \sim U$ или $E=kU$, то $f_i=kq_iU$.

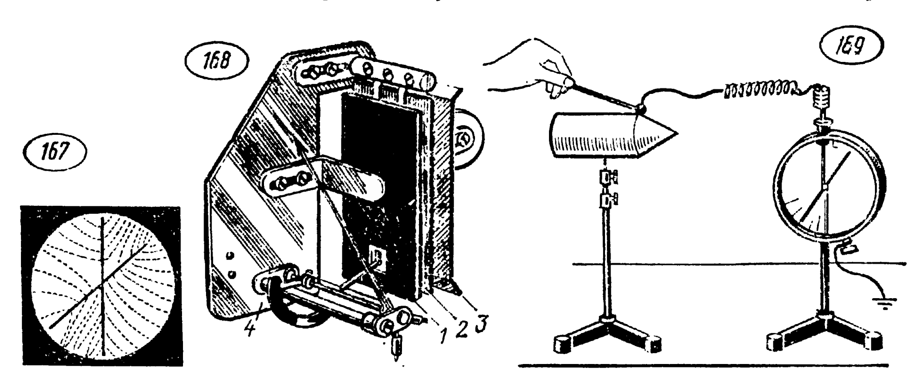
Следовательно, электрометр измеряет разность потенциалов между двумя точками электростатического поля.

Полезно показать, что если корпус электрометра изолировать от земли, а стержень соединить с землей, то при электризации корпуса электрометра стрелка его будет отклоняться, несмотря на то что она соединена с землей. По существу, электростатический измерительный механизм представляет собой конденсатор с системой неподвижных и подвижных электродов. Если к прибору приложено напряжение, то между подвижными и неподвижными обкладками конденсатора возникает сила, в результате чего подвижный электрод прибора перемещается. Это перемещение служит мерой измеряемого напряжения. Таким образом, в электростатическом измерительном механизме электрическое поле действует на подвижную часть прибора с силой, пропорциональной напряжению. В этом состоит его отличие от электромагнитных измерительных механизмов, которые являются практически измерителями силы тока.

В заключение демонстрации необходимо рассказать, что демонстрационный электрометр обладает весьма малой чувствительностью, но существуют электрометры с большей чувствительностью.

Пользуясь рисунком 168, рассказывают об устройстве электростатического вольтметра.

На изолирующем основании прибора укреплены две параллельные пластины *1* и *3*, между которыми создается электростатическое поле. Пластины соединены с клеммами прибора. Между пластинами на тонких бронзовых ленточках подвешена легкая алюминиевая пластина *2*, электрически соединенная с одной из неподвижных пластин. При электризации подвижная пластина пере-



мещается и через бронзовую тягу поворачивает ось прибора с укрепленной на ней стрелкой. Сила тяжести пластины является противодействующей, стремящейся вернуть подвижную пластину в первоначальное отвесное положение.

В заключение измеряют с помощью электростатического вольтметра разность потенциалов разомкнутой батареи аккумуляторов.

Опыт 114*. Потенциал заряженного проводника

Цель опыта. Показать учащимся, что наэлектризованный проводник имеет одинаковый потенциал во всех точках его поверхности.

Для демонстрации этого берут кондуктор с наружной и внутренней коническими торцевыми поверхностями и электризуют его от высоковольтного выпрямителя Пробный шарик соединяют длинной проволокой с электрометром (рис. 169). Касаясь пробным шариком какой-либо точки на поверхности проводника, наблюдают показания электрометра. Не прерывая контакта, передвигают пробный шарик по кондуктору. Замечают, что показания электрометра не изменяются.

Опыт 115. Измерение электроемкости

Цель опыта. Установить принципиальный способ определения электроемкости конденсатора через ранее введенные понятия заряда и разности потенциалов.

На стержень электрометра надевают малый полый металлический шар (рис. 170). Обращают внимание учащихся на то, что шар, стержень и стрелка электрометра образуют одну обкладку конденсатора, а корпус электрометра и земля — другую. Диэлектриком служит воздух и проходной изолятор.

Затем включают высоковольтный выпрямитель. Касаясь наэлектризованным от выпрямителя пробным шариком внутренней поверхности полого шара, передают ему последовательно заряды q. Замечают, что по мере увеличения заряда на шаре растет разность потенциалов между шаром и землей. В этом случае при зарядах q, $2q$, $3q$, $4q$ и т. д. разность потенциалов принимает значения U, $2U$, $3U$, $4U$ и т. д., возрастая пропорционально заряду. Но отношение модуля заряда к разности потенциалов для данного конденсатора постоянно:

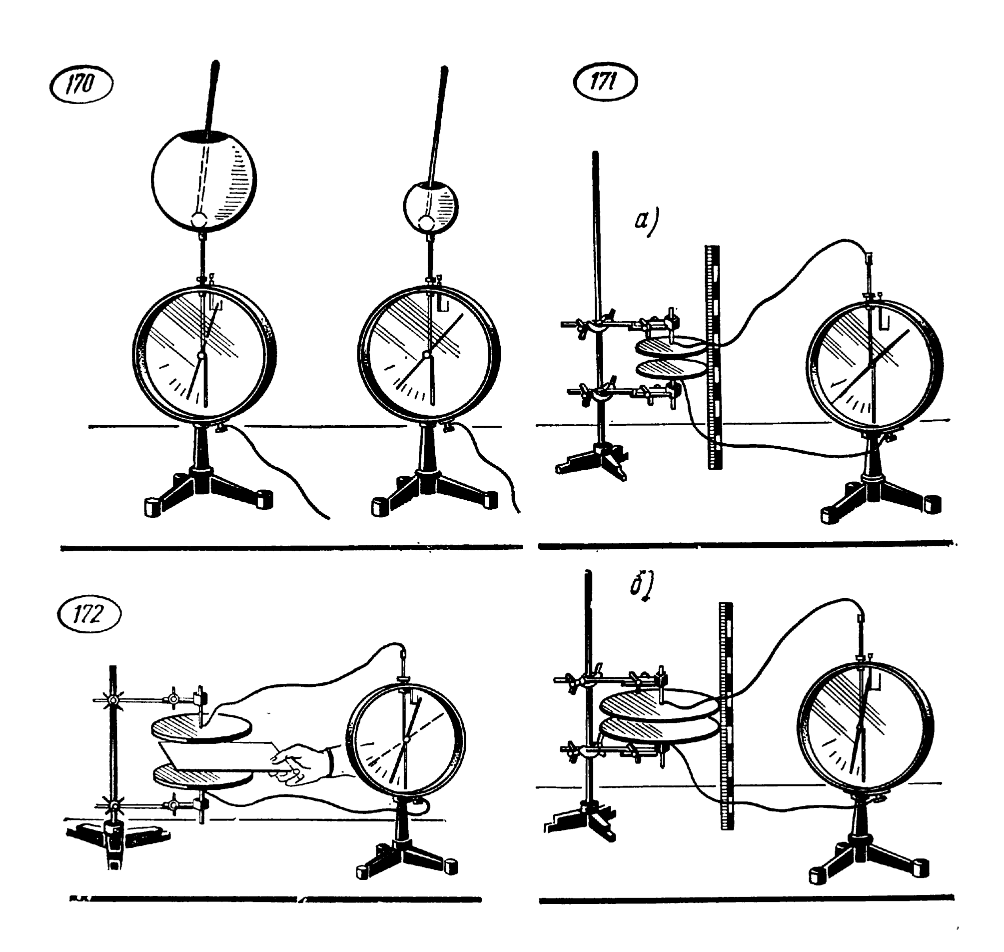
$$\frac{q}{U}=\frac{2q}{2U}=\frac{3q}{3U}=\frac{4q}{4U}=\dots=\mathrm{const}.$$

Надев большой шар, замечают, что и для нового конденсатора отношение заряда к разности потенциалов также постоянно:

$$\frac{q_1}{U_1}=\frac{2q_1}{2U_1}=\frac{3q_1}{3U_1}=\frac{4q_1}{4U_1}=\dots=\mathrm{const}.$$

Но значение этого отношения иное, чем в первом случае.

Делают вывод о том, что электроемкость данного конденсатора



может характеризоваться отношением заряда к разности потенциалов между пластинами, т. е.

$$C = \frac{q}{U}.$$

Полученная формула позволяет установить единицу электроемкости.

Опыт 116. Электроемкость плоского конденсатора

Цель опыта. Экспериментально установить, от чего и как зависит электроемкость конденсатора.

Собирают плоский конденсатор из малых пластин. Присоединяют к пластинам электрометр (рис. 171, *а*). Расстояние между пластинами устанавливают 5 см.

Электризуют верхнюю пластину малым шаровым кондуктором, заряженным от высоковольтного выпрямителя. Замечают

разность потенциалов между пластинами. Емкость конденсатора равна:

$$C_1=\frac{q}{U_1}\cdot$$

Собирают плоский конденсатор, аналогичный первому, но с большими пластинами (рис. 171, *б*). Сообщают верхней пластине такой же заряд q и замечают разность потенциалов между пластинами. Емкость этого конденсатора равна:

$$C_2=\frac{q}{U_2}\cdot$$

По показаниям электрометров видно, что $U_1>U_2$. Следовательно, $C_2>C_1$. Из этого опыта делают вывод, что электроемкость плоского конденсатора зависит от площади пластин: чем больше площадь пластин, тем больше электроемкость конденсатора, т. е. $C\sim S$, где S — площадь каждой из пластин.

Приближая нижнюю пластину к верхней, замечают, что разность потенциалов между пластинами уменьшается. Следовательно, электроемкость конденсатора обратно пропорциональна расстоянию между пластинами d, т. е.

$$C\sim\frac{1}{d}\cdot$$

Вновь электризуют верхнюю пластину конденсатора, добиваясь наибольшего отклонения стрелки электрометра. Вносят в промежуток между пластинами пластинку из органического стекла (рис. 172). Замечают, что электроемкость конденсатора увеличилась (разность потенциалов уменьшилась). Убрав пластинку, замечают, что электроемкость уменьшилась (разность потенциалов увеличилась). Следовательно, емкость конденсатора зависит от электрических свойств вещества: $C\sim\varepsilon$.

Объединяя результаты опытов, записывают:

$$C\sim\frac{\varepsilon S}{d}$$

или

$$C=k\frac{\varepsilon S}{d}\cdot$$

Если все величины, входящие в формулу, выражать в одной системе единиц, то $k=1$ и формула электроемкости плоского конденсатора примет вид:

$$C=\frac{\varepsilon S}{d}\cdot$$

Опыт 117. Устройство конденсаторов постоянной электроемкости

Цель опыта. Показать устройство конденсатора постоянной емкости.

Предварительно препарированный бумажный конденсатор ставят на подъемный столик. В процессе объяснения учитель показывает отдельные элементы конденсатора (обкладки, диэлектрик, корпус и проходные изоляторы). Для того чтобы все учащиеся могли хорошо видеть детали конденсатора, последний должен иметь большие размеры.

Устройство электролитического конденсатора демонстрируют аналогичным образом. В конце объяснения необходимо показать, что в случае неправильного включения электролитический конденсатор не удерживает заряд. Так как слой оксида на алюминиевой обкладке незаметен, то при объяснении используется учебная таблица.

Для конкретизации представлений учащихся об устройстве различных конденсаторов на столы раздают наборы конденсаторов.

Устройство керамических и пленочных конденсаторов показывают на классной доске, на которой рисуют соответствующие схемы.

Опыт 118. Устройство конденсаторов переменной электроемкости

Цель опыта. Познакомить учащихся с устройством конденсатора переменной емкости и способом изменения его электроемкости.

Демонстрационный конденсатор переменной емкости устанавливают на подъемном столике или подставке и соединяют с электрометром (рис. 173, *а*).

Объяснив устройство конденсатора, электризуют (лучше при вдвинутом роторе) пластины, соединенные со стержнем электрометра. Замечают разность потенциалов между пластинами конденсатора. Выдвигая подвижные пластины, наблюдают за изменением разности потенциалов, что свидетельствует об изменении электроемкости конденсатора (рис. 173, *б*).

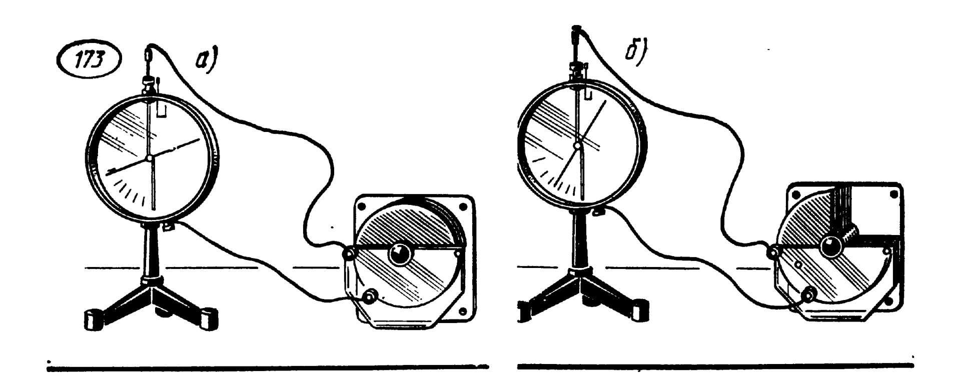
Опыт 119*. Параллельное соединение конденсаторов

Цель опыта. Познакомить учащихся с исключительно важным политехническим материалом и тем самым углубить и закрепить знания учащихся об электроемкости.

Из-за малой чувствительности школьного электрометра формула для подсчета электроемкости батареи параллельно включенных конденсаторов

$$C_{11} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_N$$

не может быть установлена экспериментально и ее вывод должен быть дан теоретически, а справедливость полученной формулы проиллюстрирована опытом.



Для этого самодельную стойку с высоковольтными конденсаторами ($U_{раб}=20$ кВ, $C=500$ пкФ) соединяют с электрометром (рис. 174).

Включив один конденсатор, заряжают его от высоковольтного выпрямителя до максимального отклонения стрелки электрометра.

Передвигая стержень коммутатора, включают второй, а затем третий конденсатор. Замечают уменьшение разности потенциалов, что свидетельствует об увеличении емкости батареи. Если в батарее используются конденсаторы одинаковой емкости, то при включении второго и третьего конденсаторов разность потенциалов уменьшается соответственно в 2 и 3 раза.

После демонстрации конденсаторы необходимо разрядить.

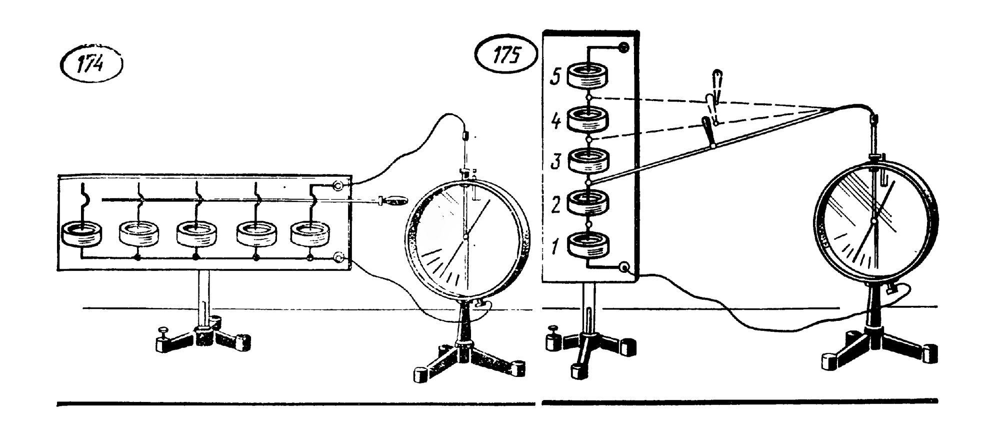
Опыт 120*. Последовательное соединение конденсаторов

Цель опыта. Расширить представления учащихся об электроемкости и познакомить с одним из распространенных в современной технике соединением конденсаторов.

Этот опыт, как и предыдущий, служит для иллюстрации теоретически установленной зависимости электроемкости батареи последовательно соединенных конденсаторов от числа конденсаторов.

Стойку с высоковольтными конденсаторами соединяют с электрометром (рис. 175) и электризуют всю батарею так, чтобы стрелка электрометра установилась на середине шкалы. Включив последовательно два, а затем три конденсатора, наблюдают увеличение разности потенциалов, что свидетельствует об уменьшении электроемкости батареи конденсаторов.

Обращают внимание учащихся на то, что последовательное соединение конденсаторов применяется в том случае, если надо получить малую емкость. Оно используется и тогда, когда конденсатор должен работать в цепи с высоким напряжением. На-



пример, конденсатор, рассчитанный на рабочее напряжение 400 В, нельзя включить в сеть с напряжением 800 В, а два одинаковых последовательно включенных конденсатора можно.

Опыт 121. Процесс заряда и разряда конденсатора

Цель опыта и предварительные советы. При изучении электростатических явлений мы были вынуждены пользоваться необычными источниками: наэлектризованными палочками и высоковольтными источниками. Это способствует формированию у учащихся неверных представлений о мире электрических явлений, ибо «электричество», которое они знают из обыденной практики, неожиданно для них «отличается» от того «электричества», с которыми они имеют дело в электростатике. Поэтому учитель должен всячески подчеркивать единство электрических явлений и объяснять различия в проявлениях различием количественных характеристик. Учащиеся должны ясно себе представлять, что в большинстве электростатических опытов использовались электрические поля с высоким напряжением и малые заряды.

Рассмотрение процессов заряда и разряда конденсатора (несмотря на ряд методических трудностей) способствует формированию правильных представлений о мире электрических явлений прежде всего потому, что эти процессы связаны с током, получаемым от знакомых им источников.

Опыт, по существу, состоит из двух взаимодополняющих друг друга стадий опыта. На первой демонстрируется характер изменения тока в цепи при разряде и заряде конденсатора. На второй — характер изменения напряжения при тех же процессах. Готовя опыты, учитель должен иметь в виду, что параметры цепи R и C взаимосвязаны и их соотношение определяет время заряда и разряда конденсатора, с которым они связаны соотношением

$$\Delta t \approx 2RC.$$

Определяющим для успешного восприятия учащимися опыта

является время. При быстром заряде (и соответственно разряде) учащиеся не успеют отметить характер изменения тока и напряжения. Близким к оптимуму является время не менее 1 мин и не более 2 мин. При опыте, длящемся более 2 мин, внимание учащихся к опыту ослабевает.

В таблице приведены примеры наиболее удачных сочетаний *R* и *C*, обеспечивающие необходимое время заряда и разряда конденсатора.

C, мкФ	10	20	30	40	50
R, МОм	3	1,5	1	1	1
Δt, с	60	60	60	80	100

Следующим важным параметром опыта является напряжение источника питания, от которого зависит максимальная сила тока, протекающего в начальный момент заряда:

$$i=\frac{U}{R}.$$

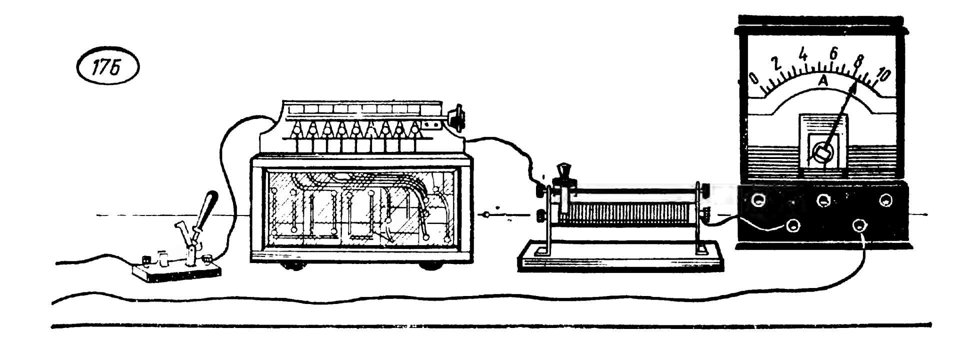
На первом этапе опыта (при наблюдении за характером изменения тока) необходимо не высокое напряжение, при котором протекающий в начальный момент ток не вывел бы из строя демонстрационный гальванометр. Хорошо опыт получается при напряжении порядка 8—10 В. В этом случае стрелка гальванометра лишь незначительно и безопасно для прибора «зашкаливает».

На второй стадии опыта напряжение определяется пределами измерения вольтметра. Существенно важно, что для постановки второй стадии опыта необходим электростатический или электронный вольтметр. Вольтметры других систем непригодны. Электронные вольтметры с цифровой индикацией в настоящее время выпускаются для школьных физических кабинетов.

1. Собирают цепь, изображенную на рисунке 176. Объясняют учащимся, что резистор *R* включен для ограничения силы тока в цепи. При отсутствии этого резистора сила тока в начальный момент была бы очень большой и отброс стрелки был бы опасным для прибора.

Включив напряжение (для этого ключ перебрасывают в рабочее положение), обращают внимание учащихся, что стрелка в начальный момент доходит до упора, а затем медленно и с заметным замедлением возвращается к нулевому делению, но не доходит до него. Обсудив результаты опыта, рисуют на доске график зависимости тока в цепи от времени.

Перебросив ключ во второе положение, наблюдают за харак-



тером изменения силы тока при разряде. Рекомендуют учащимся самостоятельно нарисовать график изменения тока при разряде конденсатора.

2. Собирают цепь по схеме, изображенной на рисунке 177. Обращают внимание учащихся на то, что для измерения напряжения в этом опыте используется вольтметр электростатической системы. Подчеркивают, что через вольтметр не течет ток, а потому конденсатор не может разрядиться через вольтметр. Повторяют опыт по зарядке конденсатора. Обращают внимание учащихся на медленный рост напряжения (стрелка вольтметра медленно движется от нулевого положения). Замечают: отклонение стрелки от нулевого деления происходит с заметным замедлением.

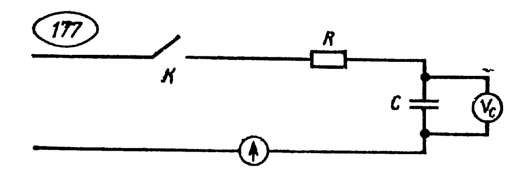
Объяснив результаты опыта, рисуют график зависимости напряжения на зажимах конденсатора от времени.

Отключив источник, замыкают цепь на резистор *R* и наблюдают изменение напряжения на зажимах конденсатора при разряде. Рекомендуют учащимся самостоятельно начертить график изменения напряжения на конденсаторе при разряде.

Опыт 122. Энергия заряженного конденсатора

Цель опыта. Показать, что заряженный конденсатор обладает энергией. Выяснить, от чего зависит энергия заряженного конденсатора.

Конденсатор большой емкости (например, 50—100 мкФ) заряжают от источника постоянного тока напряжением 5—10 В и разряжают на лампочку от карманного фонаря. При этом лампочка ярко вспыхивает (может даже перегореть). Учащимся разъясняют, что электрическая энергия заряженного конденсатора переходит во внутреннюю энергию нити и энергию излучения.



Повторяют опыт несколько раз, каждый раз уменьшая напряжение источника при зарядке конденсатора. Наблюдают, что, чем меньше напряжение, до которого заряжается конденсатор, тем хуже (менее ярко) вспыхивает лампочка при разряде конденсатора. Делают вывод, что энергия заряженного конденсатора тем больше, чем больше напряжение, до которого он заряжен.

Установив первоначальное напряжение источника, повторяют опыт, уменьшая электроемкость включенной части батареи. Наблюдают, что при разряде этой батареи лампочка вспыхивает тем слабее, чем меньше электроемкость включенного конденсатора. Делают вывод, что энергия заряженного конденсатора тем больше, чем больше электроемкость конденсатора.

После демонстрации опытов выводят формулу для подсчета энергии заряженного конденсатора.

§ 13. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тема «Законы постоянного тока» — первая тема, в которой учащиеся знакомятся с таким сложным понятием электродинамики, каким, несомненно (при всей его кажущейся простоте), является явление электрического тока. Переход от электростатических явлений к электродинамическим для учащихся не является простым прежде всего потому, что процессы, происходящие в электрических цепях, внешне менее наглядны, чем явления в электростатике.

Вторая причина трудностей связана с тем, что не всегда четко подчеркивается отличие стационарного электрического поля от поля электростатического.

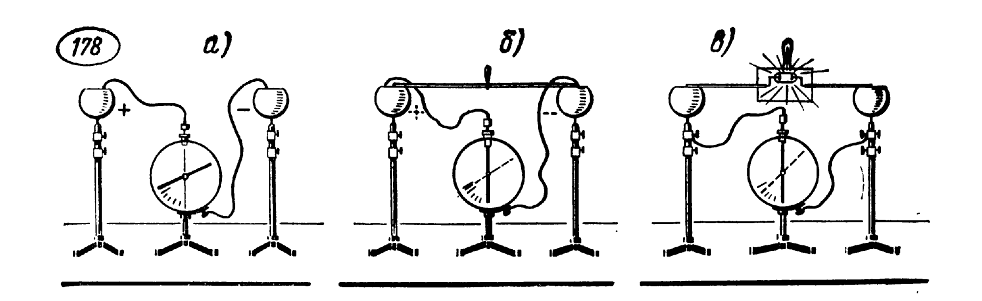
Назначение описанных ниже опытов — помочь учащимся преодолеть эти и другие трудности, встающие перед ними при переходе от электростатики к электродинамике.

Опыт 123. Электрический ток в проводнике

Цель опыта. Создать экспериментальные предпосылки для перехода от изучения электростатических явлений к электродинамическим. Начало этого перехода, по существу, было начато уже в двух предыдущих опытах.

Собрав установку, изображенную на рисунке 178, тем или иным способом (это несущественно) электризуют шары разноименными зарядами. Обращают внимание учащихся на показания электрометра, которые свидетельствуют, что между наэлектризованными шарами существует электрическое поле (рис. 178, *а*).

Соединив шары проводником, укрепленным на изолирующей ручке (рис. 178, *б*), наблюдают, что при этом стрелка электрометра устанавливается на нулевом делении. Опыт свидетельствует о взаимной нейтрализации зарядов шаров. Это дает основание высказать предположение о том, что заряды каким-то образом двигались по проводнику, что по проводнику проходил кратковременный ток.



Чтобы проверить это предположение, опыт повторяют, но шаровые кондукторы соединяют проводником, в середину которого вставлена неоновая лампочка, потребляющая небольшую мощность (рис. 178, *в*). В момент соединения шаров лампочка ярко вспыхивает. Опыт подтверждает предположение о том, что по проводнику протекал кратковременный электрический ток.

После объяснения этого опыта уместно рассказать, что в технике для получения кратковременных импульсов тока широко используется разряд конденсатора на нагрузку.

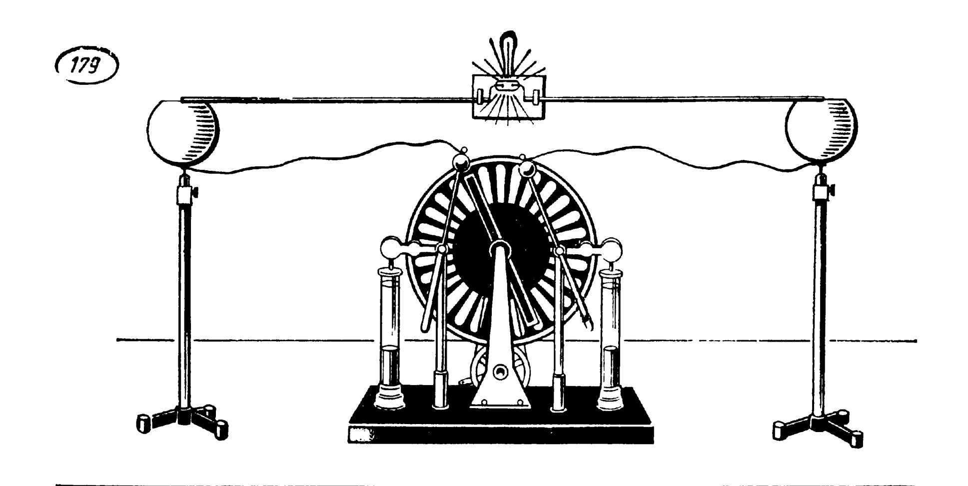
Опыт 124. Условия, необходимые для существования постоянного тока в проводнике

Цель опыта. В предыдущем опыте электрический ток проходил очень непродолжительное время. Естественно возникает вопрос, как получать ток длительное время. Очевидно, для этого необходимо поддерживать постоянное электрическое поле внутри проводника. Но поле обладает энергией. Следовательно, для длительного существования в проводнике электрического тока к его концам надо присоединить преобразователь какого-либо вида энергии в энергию электрического поля. Такой преобразователь энергии принято называть источником. В качестве источника можно использовать электрофорную машину, в которой механическая энергия преобразуется в энергию электрического поля.

Собирают установку, изображенную на рисунке 179, с электрофорной машиной. При этом в патрон под нижний контакт неоновой лампочки следует подложить прокладку из бумаги, которая будет выполнять роль ограничивающего сопротивления (на этой стадии изучения явления электрического тока о такой хитрости учащимся говорить не следует, так как они пока не знают закономерностей разряда в газах).

Медленно вращая диски электрофорной машины, наблюдают свечение неоновой лампочки в течение всего времени, пока вращаются диски машины, т. е. пока имеет место преобразование механической энергии в энергию электрического поля.

Если в кабинете есть высоковольтный выпрямитель, опыт желательно видоизменить, заменив электрофорную машину выпрямителем. Вновь наблюдают непрерывное свечение неоновой лампочки.



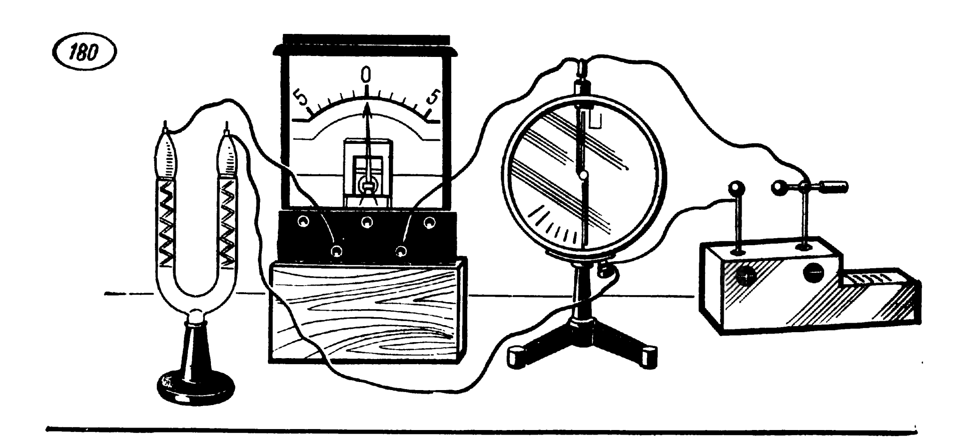
После объяснения роли высоковольтного выпрямителя полезно собрать цепь, изображенную на рисунке 180. Методическая ценность опыта, демонстрируемого на этой установке, велика, так как в ходе этого опыта учащиеся убеждаются в том, что ток, протекающий по цепи:

а) можно измерить знакомым им из курса физики VIII класса прибором;

б) создает магнитное поле (катушка гальванометра поворачивается только потому, что протекающий по ней ток создает магнитное поле);

в) вызывает свечение газа в трубке.

Кроме того, демонстрацией этого опыта перекидывается мостик между тем, что учащиеся изучали в VIII классе, и тем, что им предстоит изучать.



Опыт 125. Электрическое поле в цепи постоянного тока

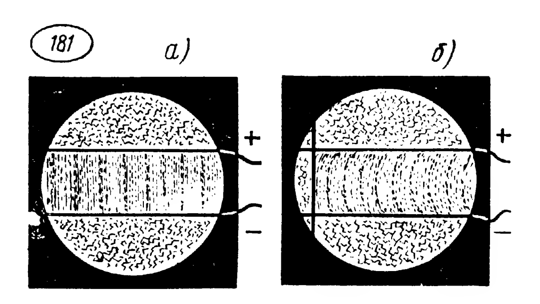
Цель опыта. Конкретизировать представления учащихся о существующем вокруг проводников, по которым течет постоянный электрический ток, электрическом поле и показать отличие этого поля от электростатического.

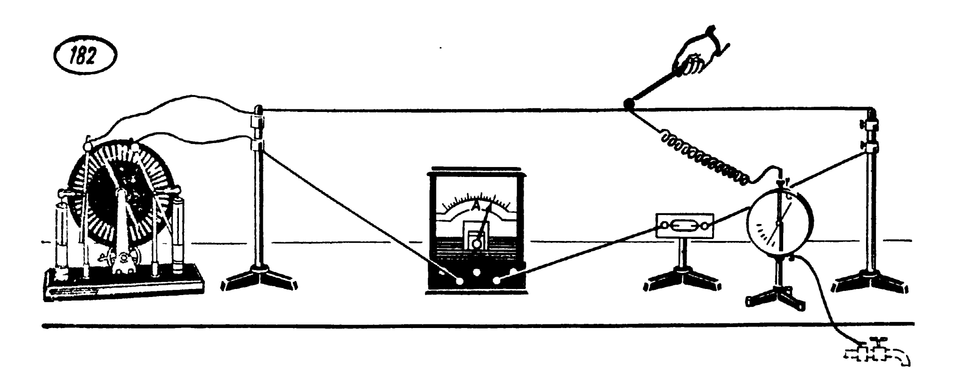
1. В проекционную ванночку, предназначенную для наблюдения картин электрических полей, помещают два электрода, изготовленные из сырого дерева. Ванночку заполняют машинным маслом, в котором во взвешенном состоянии находятся тщательно перемешанные опилки. При присоединении электродов к высоковольтному выпрямителю создается электрическое поле, характерное для разомкнутой линии передачи; его картину наблюдают на экране (рис. 181, *а*). Внимание учащихся обращают на то, что структура этого поля одинакова с полем конденсатора, а сама линия представляет своеобразный конденсатор.

2. При замыкании линии поперечной деревянной пластиной происходит изменение картины поля (рис. 181, *б*). На экране видно, что кривизна силовых линий различна в различных точках поля. Из этого опыта делают вывод, что наличие тока вызывает искривление силовых линий электрического поля, они оказываются неперпендикулярными к проводнику, как это имело место в электростатике. Следовательно, электрическое поле тока отличается от электростатического поля, в котором линии напряженности всегда были перпендикулярны поверхности проводника.

Опыт 126*. Отличие стационарного электрического поля тока от электростатического поля

Цель опыта и предварительные советы. Поверхность электрически заряженного проводящего тела (когда по проводнику не проходит электрический ток) является эквипотенциальной, т. е. все точки ее имеют одинаковый потенциал. Электрическое поле при этом существует вне проводника, а внутри его напряженность электрического поля равна нулю. Линии напряженности электростатического поля перпендикулярны к поверхности проводника. Если же по проводнику проходит ток, то внутри его существует электрическое поле и потенциалы разных его точек неодинаковы. Поверхность проводника при этом не будет уже эквипотенциальной, линии напряженности не будут перпендикулярны к поверхности проводника, будет существовать составляющая напряженности электрического поля, направленная вдоль проводника. Таким образом, поле, существующее в проводнике, когда проходит по нему электри-





ческий ток, отлично от электростатического поля. В этом случае в проводнике происходят преобразования электрической энергии в другие виды энергии. Такое поле принято называть стационарным полем.

Основное отличие стационарного электрического поля от электростатического заключается в том, что оно существует одновременно с магнитным полем. Поэтому в случае постоянного тока вокруг проводников имеется стационарное электромагнитное поле, которое и переносит энергию от источника к потребителю. Та часть энергии стационарного электромагнитного поля, которая втекает (вместе с полем) внутрь проводника, необратимо преобразуется во внутреннюю энергию.

Для демонстрации отличия стационарного поля от электростатического устанавливают на демонстрационном столе на расстоянии 1,5—2 м друг от друга два изолирующих штатива и натягивают между ними ленту от пишущей машинки. Последовательно с лентой включают неоновую лампочку, укрепленную на изолирующей панели. В качестве источника используют электрофорную машину. С высоковольтным выпрямителем опыт идет хуже (рис. 182). Вращая диски электрофорной машины наблюдают слабое (но заметное в темноте) свечение неоновой лампы, что свидетельствует о наличии тока в цепи.

Заземлив корпус электрометра, а к стержню присоединив гибкий проводник, к другому концу которого присоединен пробный шарик на изолирующей ручке, измеряют потенциал проводящей ленты. Он оказывается разным в разных точках. Поверхность проводника, по которому протекает ток, не является поверхностью равного потенциала. Это — первое существенное отличие электрического поля тока от поля электростатического.

В ходе демонстрации следует обратить внимание учащихся на показания гальванометра: отклонение стрелки гальванометра свидетельствует о том, что одновременно с электрическим полем вокруг проводника существует магнитное поле. Это — второе отличие электрического поля тока от электростатического.

Обращают внимание учащихся на то, что для поддержания

электрического поля тока необходимы затраты энергии, что является третьим отличием этого поля от электростатического.

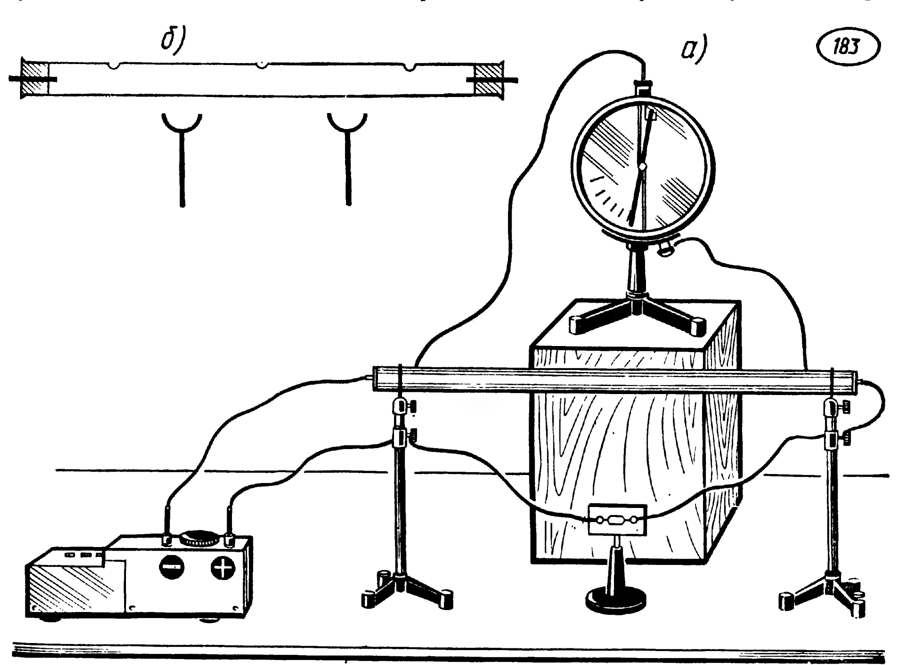
Для того чтобы показать четвертое отличие электрического поля тока от электростатического поля, собирают установку, изображенную на рисунке 183, *а*. Последовательно с неоновой лампочкой включена длинная (1—1,5 м) пластмассовая трубка, в которую через боковые пробки введены проводники, а в верхней части сделаны три отверстия: одно для воронки и два для проводников (рис. 183, *б*).

Собрав цепь, включают выпрямитель и обнаруживают, что неоновая лампочка не светит. Это свидетельствует о том, что пластмассовая трубка — хороший изолятор.

Выключив выпрямитель, через воронку наливают в трубку заранее подготовленную слегка подкисленную водопроводную воду. Включив выпрямитель, наблюдают свечение неоновой лампочки, что свидетельствует о наличии в цепи электрического тока.

Выключив выпрямитель, с помощью проводников с хорошей полиэтиленовой изоляцией, у которых освобождены от изоляции только торцы, присоединяют электрометр к двум точкам внутри воды через отверстия в трубке. Включив выпрямитель, видят, что неоновая лампочка светит, а стрелка электрометра отклонилась от нулевого деления.

Так как электрометр подключен только к внутренним точкам проводника, то его показания свидетельствуют о том, что электрическое поле в явлении электрического тока существует и внутри



проводника. Напоминают учащимся, что электростатического поля внутри наэлектризованных проводников нет. Таким образом, существование электрического поля тока внутри проводников — его четвертое отличие от электростатического поля.

Далее надо объяснить учащимся, что, так как это поле постоянно во времени, его называют стационарным электрическим полем.

Опыт 127. Электродвижущая сила и внутреннее сопротивление источника тока

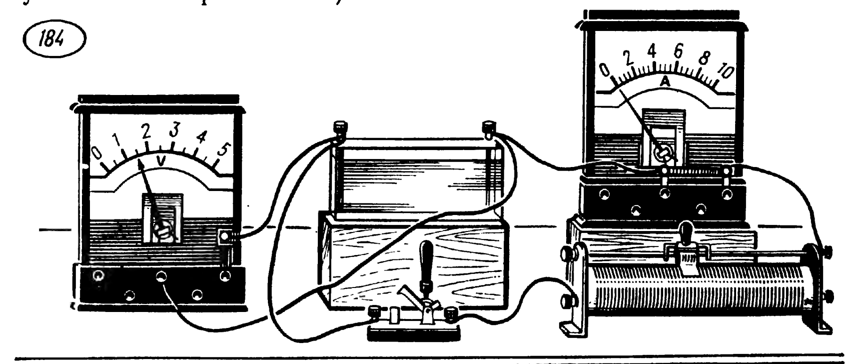
Цель опыта. Создать экспериментальные предпосылки для введения первоначальных представлений о внутреннем сопротивлении и ЭДС источника тока.

Собирают электрическую цепь (рис. 184). В качестве источника включают ванну с цинковым и медным электродами и электролитом (электролит можно приготовить по такому рецепту: 100 частей H_2O, 37 частей H_2SO_4 и 16 частей $K_2Cr_2O_7$). Размеры сосуда должны быть таковы, чтобы можно было поместить в нем электроды на расстоянии 120—150 мм. Электроды предварительно необходимо подготовить (медный электрод тщательно очистить наждачной бумагой, а цинковый желательно амальгамировать). (Это следует делать учителю во дворе школы.)

Демонстрационные вольтметр и амперметр можно применять любые. Но к амперметру специально подбирают шунт силой тока 1 А, а к вольтметру — добавочный резистор напряжением 1 В. С шунтом, рассчитанным на 3 А, и добавочным резистором, рассчитанным на 5 В, опыт идет менее эффектно. При разомкнутом ключе вольтметр дает некоторые показания. Изменяют положение электродов в ванне, т. е. сближают их и меняют глубину их погружения в электролит. При этом показания вольтметра не изменяются. Делают вывод, что это напряжение может служить характеристикой источника тока, зависящей только от того, какие электроды и какой электролит применены в данном источнике тока. Эту характеристику принято называть электродвижущей силой источника.

В нашем опыте электродвижущая сила источника тока $\mathcal{E} = 1{,}02$ В (вольтметр дает соответствующее показание с учетом допускаемых погрешностей).

184



Объясняют учащимся, что электродвижущая сила — это энергетическая характеристика поля, создаваемого источником. Электродвижущая сила равна работе, необходимой для разделения электрических зарядов, или, что одно и то же, для перенесения заряда по всей замкнутой цепи: $\mathcal{E} = \frac{A}{q}$. Несколько позднее будет показано, что ЭДС равна сумме падений напряжения на внешнем и внутреннем участках электрической цепи, а также обосновано, что вольтметр, подключенный к зажимам источника тока при разомкнутой электрической цепи, измеряет именно ЭДС.

После этого замыкают внешнюю цепь и наблюдают за показаниями вольтметра и амперметра. Пока нет еще всего необходимого для доказательства различия между ЭДС и напряжением, сообщают учащимся, что вольтметр в этом случае показывает напряжение, а амперметр — силу тока в цепи.

Необходимо ввести еще одну характеристику источника тока — внутреннее сопротивление. Не изменяя нагрузку во внешней цепи, изменяют расстояние между электродами, меняют глубину их погружения в электролит. При этом изменяется как сила тока, так и напряжение. Здесь следует главное внимание обратить на изменение силы тока. При увеличении расстояния между электродами сила тока уменьшается. В чем причина уменьшения? Вероятно, только в изменении сопротивления на участке внутри источника. То же самое происходит и при уменьшении глубины погружения электродов в электролит.

Указывают учащимся, что сила тока в цепи зависит не только от внешнего сопротивления R, но и от внутреннего сопротивления r. Характер зависимости силы тока от ЭДС и сопротивления цепи определяется законом, получившим название закона Ома для полной цепи.

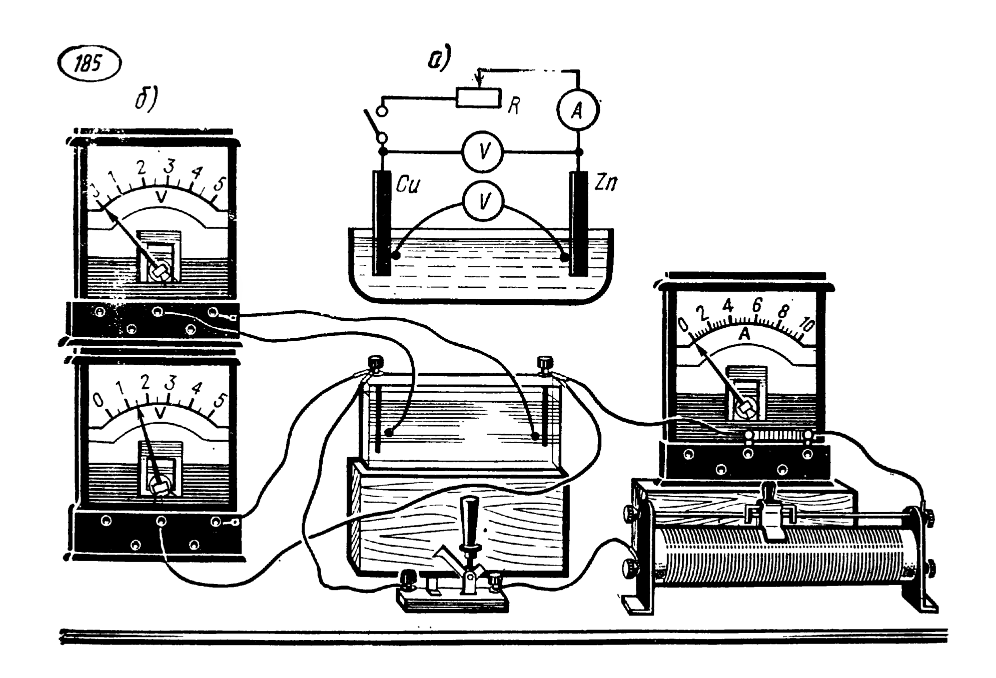
Опыт 128. Закон Ома для полной цепи (опыт впервые был описан М. А. Ушаковым)

Цель опыта. Создать экспериментальную основу для введения закона Ома для полной цепи.

Обычно закон Ома вызывает большие затруднения при изучении. Это объясняется прежде всего отсутствием наглядной экспериментальной основы, иллюстрирующей зависимость силы тока в цепи от сопротивлений внешнего и внутреннего его участков.

Собирают цепь по схеме, изображенной на рисунке 185. В качестве источника используют гальванический элемент, описанный в предыдущем опыте. Для измерения силы тока и напряжения можно применять демонстрационные вольтметры и амперметры любых годов выпуска, подобрав к ним соответственно добавочный резистор напряжением 1 В и шунт силой тока 1 А.

Сложность может возникнуть из-за того, что в кабинете в наличии окажутся только два прибора (демонстрационный амперметр и демонстрационный вольтметр). В опыте же требуются два вольтметра и амперметр.



В этом случае опыт проводят в два этапа. Вначале в цепь включают только вольтметры. В качестве второго вольтметра используют демонстрационный амперметр со специально подобранным добавочным резистором. Если взять демонстрационный амперметр одного из последних выпусков, то добавочный резистор должен иметь сопротивление 9 кОм. Прибор будет в этом случае вольтметром напряжением 1 В. На втором этапе опыта измеряют только напряжение на внешней цепи и силу тока в цепи.

Напряжение на зажимах источника тока U_1 измеряет вольтметр V_1, а напряжение U_2 между двумя точками, находящимися в непосредственной близости от электродов, — вольтметр V_2. Напряжение U_1 соответствует падению напряжения во внешней цепи, а U_2 — во внутренней цепи.

Для измерения напряжения U_2 вольтметр подключают с помощью двух щупов, изготовленных из химически однородного металла. В простейшем случае это просто два провода, опущенные в раствор. Щупы не должны касаться электродных пластин и в то же время должны быть в непосредственной близости от них. Наиболее просто это осуществить путем крепления щупов к стержням из изолирующего материала. В этом случае касаются одной стороной стержня электрода, а щуп, присоединенный к другой его стороне, оказывается изолированным от последнего.

Щупы должны иметь малую площадь по сравнению с площадью электродов элемента. В противном случае они будут влиять на показания вольтметра, измеряющего напряжение на внешней цепи.

При демонстрации опыта, не замыкая цепь, измеряют U_1. Затем измеряют U_2 и убеждаются, что при любых положениях щупов $U_2=0$. Следовательно, нет напряжения на внутреннем участке источника тока при разомкнутой внешней цепи.

Затем замыкают внешнюю цепь и несколько раз измеряют U_1 и U_2 при разных нагрузках, постепенно изменяя сопротивление в цепи. Полученные значения напряжений U_1 и U_2 записывают на доске и убеждаются, что сумма этих напряжений остается постоянной ($U_1+U_2=\text{const}$).

Сумма внешнего и внутреннего падений напряжения, остающаяся постоянной при любом режиме работы цепи, таким образом, может служить энергетической характеристикой источника тока. Эта величина определяет способность источника тока преобразовывать энергию при перемещении общего заряда по всей замкнутой цепи. В соответствии с принятым определением это есть электродвижущая сила $\mathcal{E}$.

Используя закон Ома для участка цепи, записывают, что $U_1=IR$, а $U_2=Ir$, где R и r соответственно сопротивления внешнего и внутреннего участков цепи.

Тогда $IR+Ir=\mathcal{E}$, откуда $I=\frac{\mathcal{E}}{R+r}$. Последнее соотношение и является законом Ома для полной цепи.

В заключение обратим еще раз внимание, что опытным путем мы не получаем закон Ома для полной цепи. Опыт лишь доказывает, что $\mathcal{E}=\text{const}$ и, кроме того, $\mathcal{E}=U_1+U_2$.

§ 14. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Электрическое и магнитное поля связаны друг с другом. В явлении электрического тока они существуют одновременно и неразрывно.

Необходимо на выразительных, точных и вместе с тем простых опытах показать учащимся эту неразрывную связь электрического и магнитного полей.

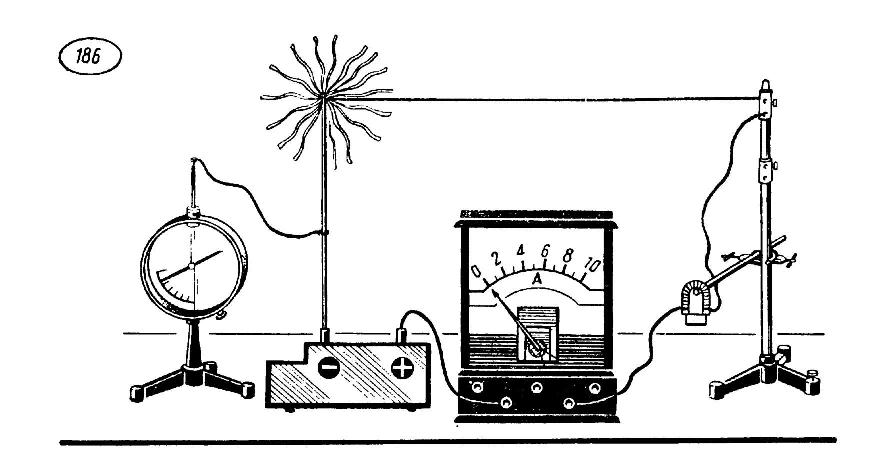
Очень важно показать экспериментально не только то, что магнитное поле существует вокруг движущихся зарядов, но и то, что оно действует только на движущиеся электрические заряды и не действует на неподвижные, ибо эта черта, присущая только магнитному полю, отличает его от электрического поля, которое действует на неподвижные и движущиеся электрические заряды.

Наконец, особое место занимают опыты, демонстрация которых необходима при введении понятия магнитной индукции, а также при изучении магнитного поля прямого тока и катушки.

Опыт 129. Одновременное существование в цепи постоянного тока электрического и магнитного полей

Цель опыта. Показать одновременное существование электрического и магнитного полей постоянного тока.

11 Заказ 1584



Для этого собирают цепь (рис. 186), состоящую из высоковольтного выпрямителя, гальванометра, специального электромагнита, обмотка которого рассчитана на высокое напряжение (изготовление такого электромагнита описано в разделе IV книги), электрометра и электрического султана.

Включив высоковольтный выпрямитель, наблюдают отклонение стрелки электрометра и расхождение листочков электрического султана, что свидетельствует о наличии электрического поля. Одновременно наблюдают отклонение стрелки гальванометра и действие электромагнита, который притягивает лезвия безопасных бритв, ученические перья, мелкие гвозди и т. д., что свидетельствует о наличии магнитного поля.

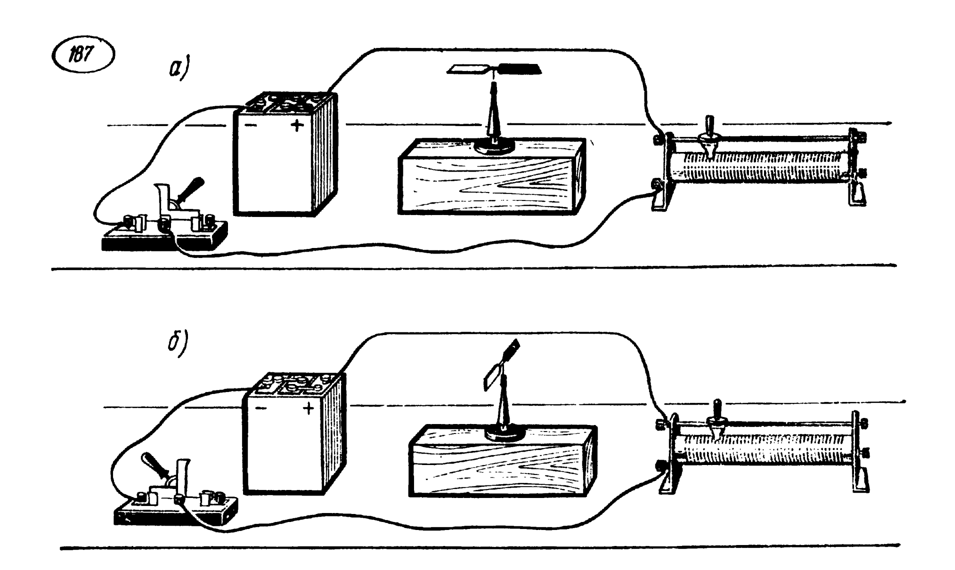
При выключении выпрямителя листочки султана опадают, стрелки электрометра и гальванометра возвращаются в исходное положение, электромагнит перестает притягивать металлические предметы.

На основании проделанного опыта делают вывод, что в явлении электрического тока электрическое и магнитное поля существуют одновременно как две стороны одного и того же явления. Такое поле принято называть электромагнитным. Так как электромагнитное поле постоянного тока постоянно во времени, то его обычно называют стационарным электромагнитным полем.

Опыт 130. Магнитное поле постоянного тока

Цель опыта. Показать, что вокруг любого проводника, по которому проходит электрический ток, независимо от природы проводника (металл, электролит, разреженный газ) существует магнитное поле. Опыт целесообразно разбить на три отдельные демонстрации.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 187. Проводник, соединяющий реостат с аккумулятором, не должен быть слишком мягким, чтобы его можно было, изогнув, установить над магнитной стрелкой.



Наилучшее расположение стрелки — вдоль демонстрационного стола, тогда за ней легко наблюдать со всех мест аудитории. Если же в кабинете демонстрационный стол расположен не вдоль магнитного меридиана, а поперек, наблюдение за поворотом стрелки затруднено. В этом случае надо воспользоваться несколькими искусственными линейными магнитами для того, чтобы изменить расположение магнитной стрелки на более удачное для целей демонстрации. Магниты лучше всего положить за ящиком-подставкой и обращать на них внимание учащихся не следует, так как они не изменяют существа опыта.

Опыт хорошо удается при силе тока 3—5 А и хорошей намагниченности стрелки. Внимание учащихся необходимо сосредоточить на магнитной стрелке, являющейся в данном опыте индикатором магнитного поля.

Замкнув цепь, наблюдают отклонение магнитной стрелки от первоначального положения. Разомкнув цепь, экранируют проводник алюминиевой фольгой (можно продеть проводник в алюминиевую трубку), которую соединяют с землей, и повторяют опыт. Делают вывод, что отклонение магнитной стрелки вызывается не электрическим полем.

2. Металлический проводник заменяют стеклянной трубкой, в которую наливают раствор медного купороса. При включении тока замечают отклонение магнитной стрелки от первоначального положения.

3. Стеклянную трубку заменяют лампой дневного света (рис. 188).

При включении тока, как и в предыдущих опытах, замечают отклонение магнитной стрелки от своего первоначального положения, правда, не столь значительное.

Опыт 131. Магнитное поле постоянных магнитов

Цель опыта. Показать наличие магнитного поля вокруг постоянных магнитов. Опыт распадается на две небольшие взаимодополняющие демонстрации.

1. Берут большой демонстрационный магнит и, перемещая его около магнитной стрелки, замечают ее движение. Поместив между магнитной стрелкой и магнитом заземленный алюминиевый экран, повторяют опыт. Делают вывод, что вокруг магнита, как и вокруг проводника с током, есть магнитное поле, через которое действие магнита передается на магнитную стрелку.

2. Кольцевой магнит, изготовленный из порошка высококоэрцитивного сплава, спрессованного с помощью пластмассы, опускают на дно стеклянного цилиндра, взятого из лабораторного комплекта по электролизу. Второй кольцевой магнит опускают в цилиндр так, чтобы магниты были обращены друг к другу одноименными полюсами. Наблюдают «парение» верхнего магнита над нижним (рис. 189).

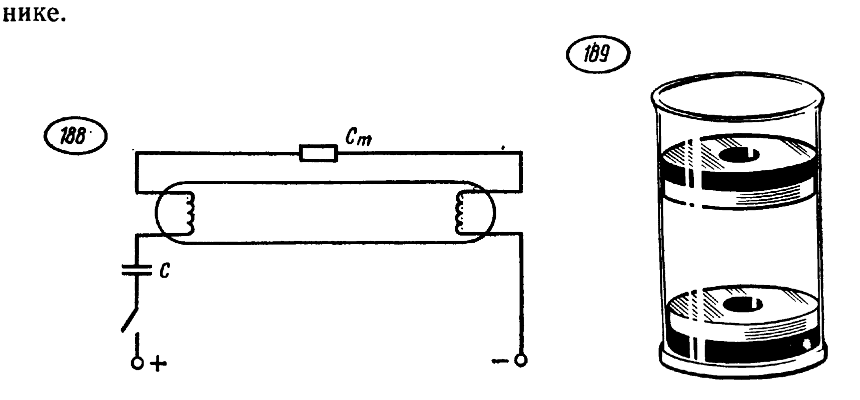
Затем надевают магниты на стеклянную трубку, расположенную горизонтально. Передвигая один магнит к другому, замечают движение второго магнита по трубке.

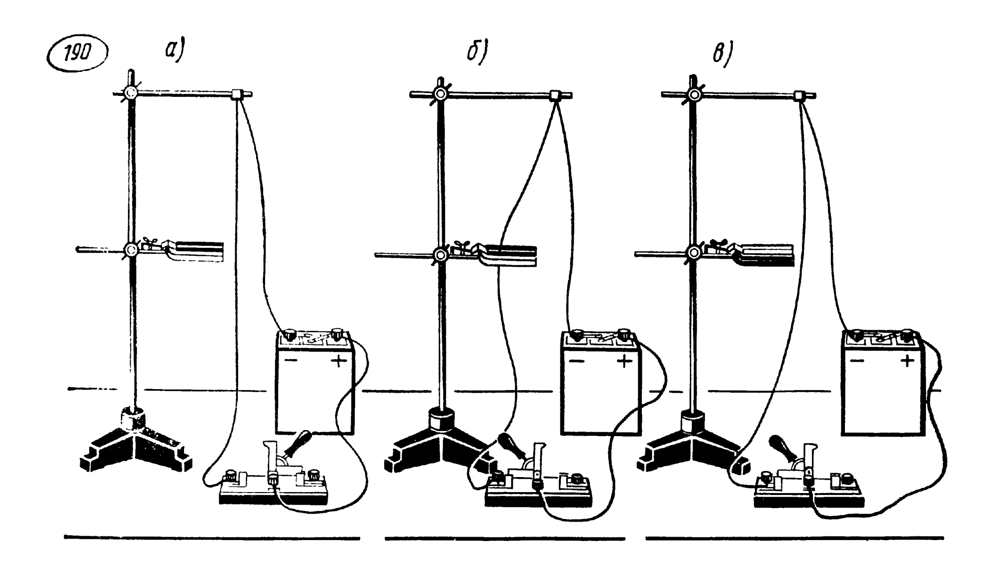
Опыты с кольцевыми магнитами весьма наглядны и ощутимо показывают наличие магнитного поля.

Опыт 132. Действие магнитного поля на электрические заряды

Цель опыта. Показать, что магнитное поле не действует на неподвижные и действует на движущиеся электрические заряды.

Для этого собирают установку, изображенную на рисунке 190, *а*. Проводник должен быть гибким и достаточно длинным (1,5—2 м). Лучше всего его изготовить из тонкой алюминиевой фольги или из оплетки гибкого экранированного провода. Собрав цепь, обращают внимание учащихся на то, что проводник, присоединенный к отрицательному полюсу батареи аккумуляторов, заряжен отрицательно. Поднося к проводнику демонстрационный дугообразный магнит, замечают, что магнитное поле не действует на неподвижные электрические заряды, имеющиеся на проводнике.





Замыкают цепь и замечают втягивание (или выталкивание) проводника (рис. 190, *б* и *в*). Так как при замыкании цепи изменилось только состояние электрических зарядов (неподвижные заряды пришли в движение), то делают вывод, что магнитное поле не действует на неподвижные заряды и действует на движущиеся, это является его отличительным признаком.

Для закрепления полученного вывода, а также для конкретизации явления необходимо проделать аналогичный опыт с электронным пучком.

К высоковольтному выпрямителю присоединяют электроннолучевую трубку. Замкнув цепь, подносят магнит к трубке и наблюдают отклонение пучка. Изменив положение магнита, замечают отклонение пучка в противоположную сторону. Если в кабинете нет специальной трубки для демонстрации действия магнитного поля на электронный пучок, можно использовать осциллограф, осциллографическую трубку на подставке или телевизор. При поднесении магнита к любому из этих приборов заметно смещение светящегося пучка или изображения.

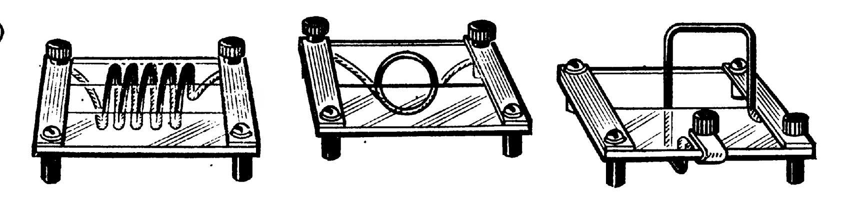
Опыт 133. Наблюдение картин магнитных полей

Цель опыта. Расширить и углубить представления учащихся о магнитном поле.

Наблюдение картин магнитных полей имеет огромное значение для формирования представлений учащихся о магнитном поле. С их помощью создается геометрический образ поля, вскрывается его структура.

Демонстрацию лучше всего проводить в проекции. Для этого проекционный аппарат устанавливают в положение для горизонтальной проекции. Конденсор аппарата защищают тонким стек-





лом от загрязнения стальными опилками и от механических повреждений. На стекле устанавливают либо постоянные магниты, либо специальные приспособления для наблюдения спектров магнитных полей прямого тока, кольцевого тока и тока катушки (рис. 191). После того как магниты или проводники установлены на стекле, включают лампу аппарата и проецируют установленный объект на экран. Если демонстрируют спектр магнитного поля постоянного магнита, магнит накрывают стеклом и равномерно посыпают на второе стекло стальные опилки, для чего перемещают коробочку-сито вверх и внизу под углом 45° к горизонту. Такое направление движения удобно тем, что опилки не попадают на объектив и рука учителя не загораживает его.

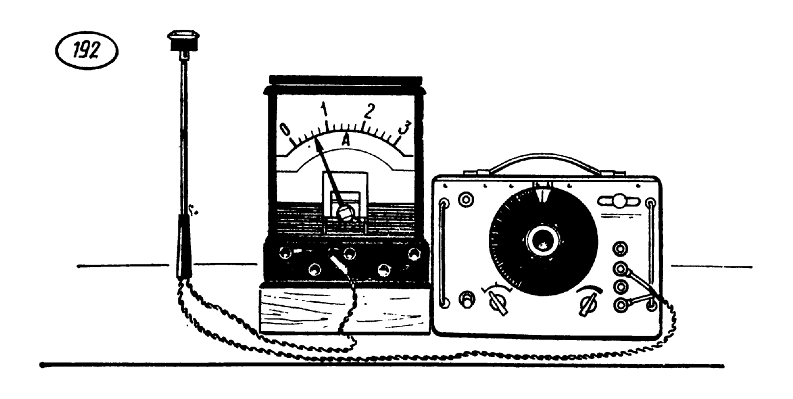
Для получения хорошей картины слегка постукивают карандашом по краю стекла.

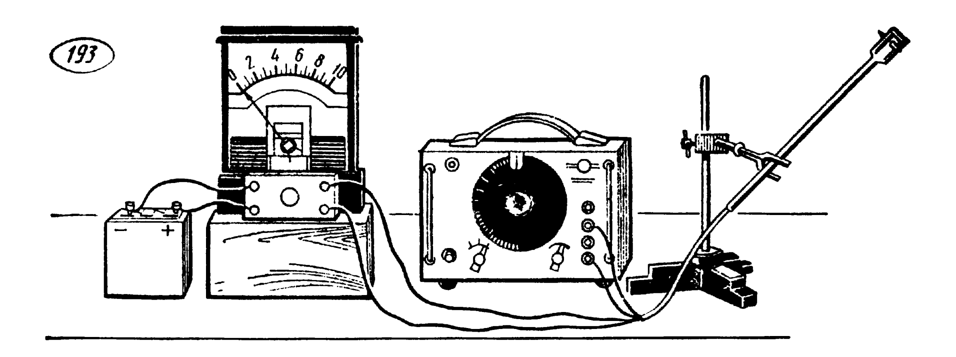
Опыт 134. Индикатор магнитной индукции

Цель опыта. Познакомить учащихся с прибором, который в школьных условиях используется для измерения магнитной индукции.

Промышленностью выпускается для школ довольно удобный и простой в обращении индикатор магнитной индукции. Однако у этого индикатора с педагогической точки зрения есть два недостатка. Первый состоит в том, что принцип его работы (несмотря на его простоту: трансформатор с тремя обмотками) в этом месте курса невозможно объяснить учащимся.

Второй недостаток связан с тем, что для работы индикатора





необходимы гальванометр и звуковой генератор. На рисунке 192 показан внешний вид установки с индикатором магнитной индукции.

В тех случаях, когда магнитная индукция поля мала, гальванометр включают через усилитель. Поскольку принцип работы индикатора пока недоступен ученикам, их надо познакомить с назначением прибора и с приемами использования его в работе. Для этого, собрав цепь, показанную на рисунке 193, подносят индикатор к хорошему постоянному магниту. Замечают, что стрелка гальванометра отклонилась (необходимую частоту звукового генератора надо подобрать до урока, чтобы этой манипуляцией не отвлечь внимание учащихся).

Поворачивая зонд вокруг оси, обращают внимание учащихся на то, что наибольшее отклонение стрелки гальванометра происходит тогда, когда зонд располагается вдоль линий магнитной индукции, а наименьшее тогда, когда зонд расположен перпендикулярно к линиям индукции.

Затем демонстрируют, что по мере удаления от магнита показания индикатора-гальванометра резко уменьшаются. Этих сведений учащимся достаточно для понимания демонстраций с использованием зонда.

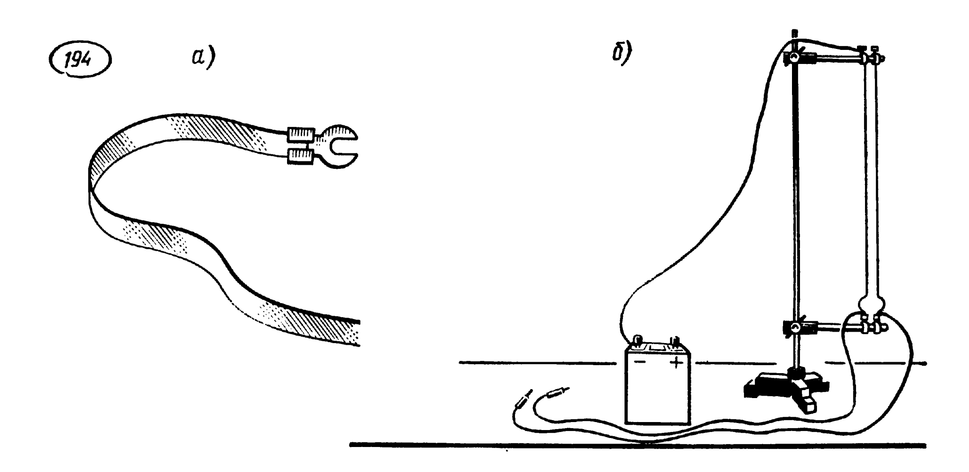
Опыт 135. Взаимодействие параллельных токов

Цель опыта. Познакомить учащихся с взаимодействием параллельных токов, создать экспериментальную базу для введения формулы Ампера и единицы силы тока.

1. Для успешной демонстрации взаимодействия параллельных токов необходимы длинные, гибкие, выдерживающие силы тока до 10 А проводники и источники тока с малым внутренним сопротивлением, не боящиеся кратковременных коротких замыканий.

Проводник, удовлетворяющий этим специфическим требованиям, можно изготовить из алюминиевой фольги, взяв ее из старого бумажного конденсатора. Из фольги вырезают две ленты длиной около 2 м и шириной 20—30 мм. Концы ленты аккуратно свертывают и заделывают в наконечники (рис. 194, *а*).

Источником тока, не боящимся кратковременных коротких



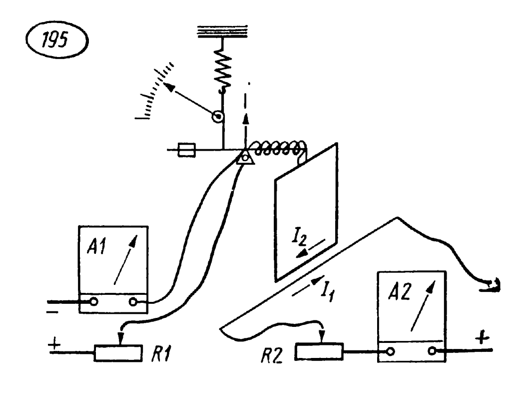
замыканий, являются кислотные и щелочные аккумуляторы. Необходимое для опыта напряжение 3—10 В. Если в кабинете нет аккумуляторов, в качестве источника кратковременного тока можно использовать школьную батарею конденсаторов (50 мкФ), заряженную до напряжения 250 В.

Для демонстрации опыта собирают установку, изображенную на рисунке 194, *б*. Так как сила взаимодействия проводников зависит от длины проводников, то в установке используют штатив со сдвоенной штангой. Концы взаимодействующих проводников закрепляют в зажимах изолирующих стержней универсального штатива (а если их нет, то на сухой деревянной пластине на расстоянии примерно 5 см друг от друга). При этом верхние зажимы проводников надо электрически соединить между собой и к середине соединительного проводника присоединить длинный проводник для подачи напряжения. Вторые концы проводников можно либо положить на стол, либо, как и первые, зажать в зажимы изолирующих стержней. И в том и в другом случае проводники не следует натягивать. Более того, проводники должны висеть так, чтобы внизу у них был изгиб. К каждому нижнему проводнику присоединяют отдельные провода для подключения к источнику. Присоединив один из нижних проводов к полюсу источника, оголенным концом ненадолго касаются другого полюса. Наблюдают взаимное отталкивание проводов. Анализируя вместе с учащимися направление токов в проводниках (для этого схему цепи рисуют на доске), делают вывод, что токи, текущие по параллельным проводникам в противоположных направлениях, взаимно отталкиваются.

Присоединив оба нижних проводника к одному из полюсов источника, касаются оголенным концом верхнего провода, наблюдают взаимное притяжение проводников. Начертив на доске схему цепи, делают вывод, что параллельные токи одинакового направления взаимно притягиваются.

2. Чтобы выяснить, от каких величин и как зависит сила

взаимодействия параллельных токов, собирают установку, электрическая схема которой приведена на рисунке 195.



На рычаге демонстрационных весов подвешена рамка размером 100×200 мм, состоящая из 40—50 витков изолированного провода диаметром 0,2—0,3 мм.

Передвигая противовес, уравновешивают рамку (стрелка динамометра должна находиться на нулевом делении). С помощью подставки вторую рамку располагают так, чтобы расстояние между взаимодействующими проводниками было 0,5 см. Включают рамки в цепь постоянного тока по схеме, изображенной на рисунке.

Амперметры нужны для измерения токов, проходящих через рамки, а реостаты *R1* и *R2* — для их изменения.

Если в кабинете нет двух демонстрационных амперметров, можно обойтись одним, включая его только в цепь с регулируемым током. Замыкают обе цепи и устанавливают в рамках силу тока 1 А. Направление токов в рамках должно быть таким, чтобы они отталкивались. Возвратив рамку при помощи динамометра в первоначальное положение, находят силу взаимодействия в условных единицах. Увеличивают силу тока в подвижной рамке в 2 раза, замечают, что и сила взаимодействия также возрастает в 2 раза; при увеличении силы тока в 3 раза сила взаимодействия возрастает также в 3 раза. Из опыта видно, что сила взаимодействия параллельных токов пропорциональна силе тока в одном из проводников. Вывод записывают на доске:

$$F \sim I_1.$$

Меняя аналогичным образом силу тока в неподвижном проводнике, устанавливают, что

$$F \sim I_2.$$

Увеличивая расстояние между проводами в 2, 3 и 4 раза, замечают, что сила взаимодействия уменьшается в соответственное число раз, т. е.

$$F \sim \frac{1}{d}:$$

Изменив положение обеих рамок таким образом, чтобы взаимодействовали их длинные стороны, устанавливают, что

$$F \sim l.$$

Помещают под подвижной рамкой фотокювету; в нее кладут неподвижную рамку и наливают ферромагнитную жидкость (о ее приготовлении см. с. 238) так, чтобы оба взаимодействующих проводника оказались под слоем жидкости. Уравновесив подвижную рамку и установив такую же силу тока, как и в предыдущем опыте, убеждаются, что сила взаимодействия параллельных токов зависит от магнитных свойств среды. Этот вывод записывают следующим образом: $F \sim \mu$.

Объединяя результаты наблюдений, записывают:

$$F \sim \frac{\mu I_1 I_2 l}{d}$$

или, перейдя к знаку равенства,

$$F = k\frac{\mu I_1 I_2 l}{d},$$

Затем сообщают учащимся, что многократные измерения показали, что каждый метр двух очень длинных параллельных проводников, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме, когда по ним проходит ток 1 А, взаимодействует с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н. На доске записывают:

$$2 \cdot 10^{-7}\text{Н} = k\mu \frac{1\ \text{А} \cdot 1\ \text{А} \cdot 1\ \text{м}}{1\ \text{м}}.$$

Далее объясняют, что коэффициент пропорциональности был взят равным $\frac{1}{2\pi}$. Следовательно, для вакуума коэффициент μ равен $4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$. Его обозначают через μ_0 и называют магнитной постоянной:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}.$$

Магнитные свойства веществ удобно сравнивать с магнитными свойствами вакуума. Так, сила взаимодействия параллельных токов в вакууме и в безграничной однородной среде может быть подсчитана по формулам

$$F_0 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}; \qquad F = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$

Отношение $\frac{F}{F_0} = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r$ называется относительной магнитной проницаемостью среды, и оно показывает, во сколько раз сила взаимодействия параллельных токов в данной среде больше или меньше силы взаимодействия этих же токов в вакууме.

Величина $\mu = \mu_0 \mu_r$ называется магнитной проницаемостью данной среды.

Опыт 136. Магнитная экранировка

Цель опыта. Показать учащимся, что от действия магнитного поля можно защититься с помощью магнитных экранов. На этой основе рассказать учащимся, что в технике часты случаи, когда приборы и аппараты необходимо защитить от воздействия внешних магнитных полей.

Опыт, посвященный выяснению принципа магнитной экранировки, полезно разбить на три отдельные демонстрации.

1. На конденсор проекционного фонаря устанавливают стекло, на котором в свою очередь помещают дугообразный магнит и толстое стальное кольцо. Покрыв магнит и кольцо вторым стеклом, демонстрируют в проекции спектр магнитного поля. Обращают внимание на то, что стальные опилки внутри кольца располагаются в беспорядке. Делают вывод, что внутри кольца нет магнитного поля.

2. Массивное кольцо заменяют тонким кольцом, изготовленным из тонкой стальной ленты или фольги (можно использовать старую металлическую рулетку). Вновь демонстрируют спектр и замечают, что внутри кольца стальные опилки слегка ориентированы.

Объясняют, что надежная экранировка будет только тогда, когда экран имеет достаточную толщину.

3. Демонстрационную магнитную стрелку подвешивают на очень тонкой капроновой или шелковой нити на высоте 15—20 см от стола. В верхней части нити укреплена бумажная стрелка, расположенная вдоль демонстрационного стола (по повороту стрелки можно судить о закручивании нити). Издали подносят к нити магнит и наблюдают его действие на магнитную стрелку.

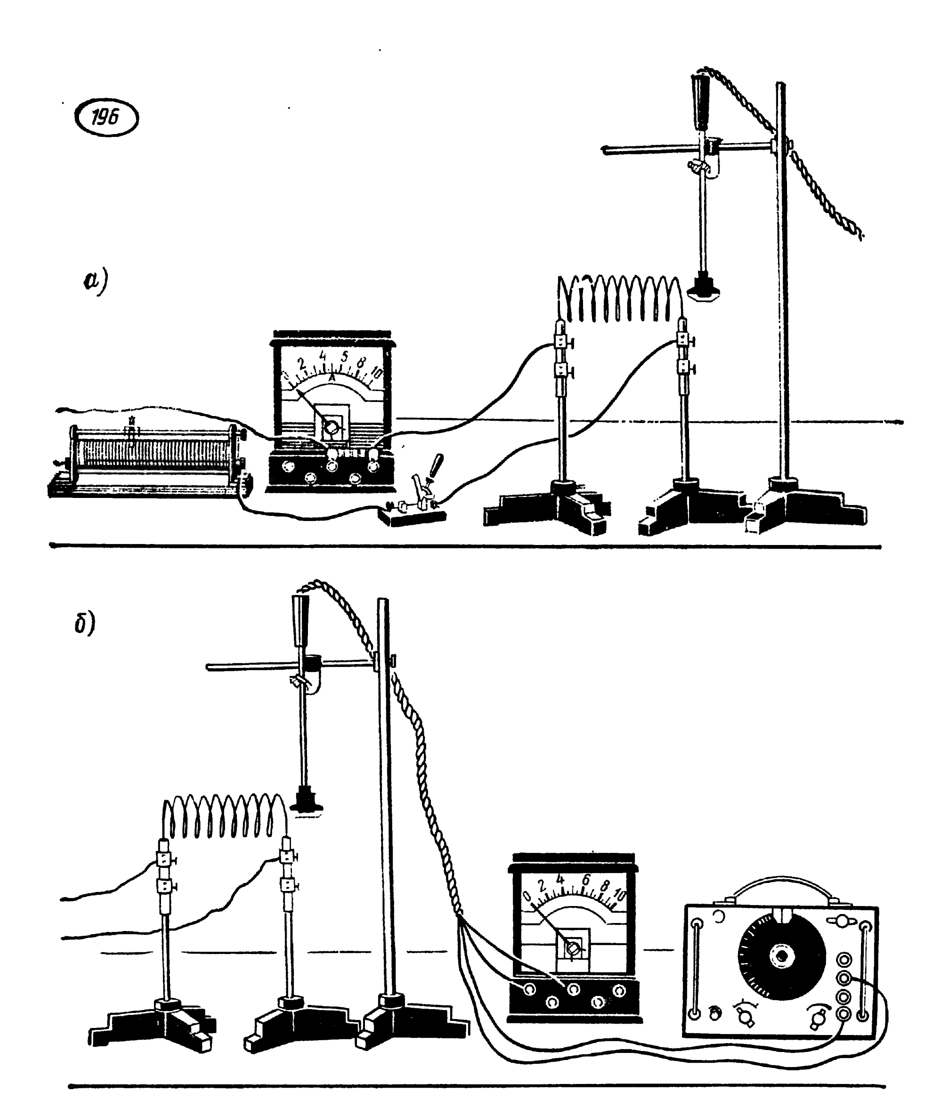
Помещают магнитную стрелку внутрь обрезка стальной трубы. Повторяют опыт. Убеждаются, что магнит не действует на магнитную стрелку, находящуюся в трубе.

Опыт 137. Магнитное поле катушки. Электромагнит

Цель опыта. Создать экспериментальную основу для введения формулы магнитной индукции магнитного поля катушки. Соотношение исключительно важное для понимания устройства таких устройств, как электромагнит, электромагнитное реле и др.

Для изучения магнитного поля катушки и электромагнита необходимо из толстой медной или алюминиевой проволоки изготовить демонстрационную катушку, состоящую из 15—20 витков диаметром 6—8 см. Катушку можно выполнить как из изолированного провода (это лучше), так и из голого, без изоляции. Оголенные концы провода катушки вставляются в изолирующие стержни демонстрационного штатива (рис. 196). Напряжение на катушку подают через низкоомный реостат от любого источника постоянного тока, рассчитанного на силу тока до 5 А.

Для измерения магнитной индукции используют демонстрационный измеритель магнитной индукции (на рисунке 196 показан лишь зонд измерителя). Так как индукция магнитного поля катушки достаточно велика, гальванометр-индикатор в этом опыте включается без усилителя.



Собрав установку, включают ток. Стрелка индикатора магнитной индукции чуть-чуть отклонится от нулевого деления. Выводя включенную часть реостата, увеличивают силу тока, протекающего через катушку. Индикатор измерителя магнитной индукции свидетельствует, что увеличивается и магнитная индукция. Переносят зонд индикатора магнитной индукции внутрь катушки. Повторяют опыт. Опыты дают основание утверждать, что

$$B \sim I.$$

Не меняя силу тока, протекающего через катушку, сжимают катушку. Обнаруживают, что при этом магнитная индукция увеличилась. Анализируя опыт, приходят к выводу, что магнитная

индукция поля катушки пропорциональна числу витков, приходящихся на единицу длины катушки:

$$B \sim \frac{N}{d};$$

где d — длина, а N — число витков катушки.

Вносят внутрь катушки железный сердечник. Обнаруживают, что магнитная индукция поля увеличилась. Опыт дает некоторое основание утверждать, что магнитная индукция пропорциональна магнитной проницаемости среды:

$$B \sim \mu.$$

Объединяя результаты наблюдений, записывают:

$$B \sim \frac{\mu I N}{d}.$$

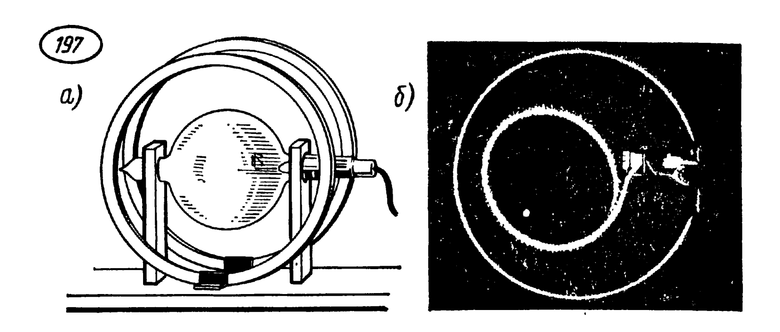
Сообщают, что точные расчеты дали следующую формулу для магнитной индукции поля катушки:

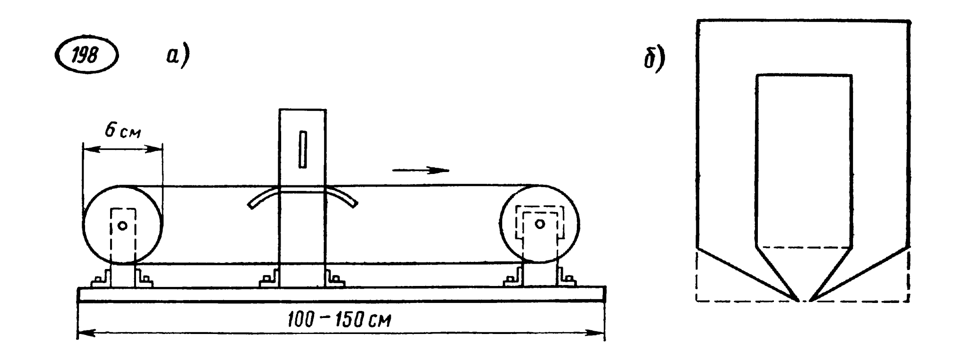
$$B = \frac{\mu_0 \mu_i I N}{d}.$$

Опыт 138. Движение электронов в магнитном поле

Цель опыта. Показать движение электронов в магнитном поле и тем самым создать экспериментальные предпосылки для введения понятия о силе Лоренца.

Для демонстрации движения электронов в магнитном поле промышленность стала выпускать прибор, изображенный на рисунке 197. Прибор состоит из колец Гельмгольца и шаровой колбы, наполненной неоном при низком давлении. Внутри колбы установлен электронный прожектор, испускающий электроны. Под действием магнитного поля электроны движутся по окружности, радиус которой определяется магнитной индукцией поля, создаваемого кольцами Гельмгольца. Двигаясь в разреженном газе, электроны ионизуют его, и в затемненной аудитории хорошо виден «след», оставляемый электронами (рис. 197, *б*). Меняя





силу тока, протекающего по кольцам Гельмгольца, демонстрируют учащимся изменение радиуса окружностей, по которым движутся электроны.

Опыт 139. Магнитная запись информации

Цель опыта. Показать принцип устройства аппаратов для магнитной записи информации, широко применяющейся в технике (магнитофоны, магнитная память ЭВМ и др.).

Несмотря на исключительную важность учебного материала о магнитной записи информации, пока промышленность не выпускает для школ учебного прибора, с помощью которого можно было бы поставить демонстрационный опыт. Промышленный выпуск такого прибора намечен на ближайшее время. Однако вполне удовлетворительные результаты можно получить, изготовив два самодельных прибора.

Первым прибором является простейший лентопротяжный механизм, позволяющий протянуть 2—2,5 м магнитной ленты. Устройство прибора ясно из рисунка 198, *а*. На длинной доске — основании укреплены три стойки. На левой стойке укреплен легкий диск с бортиками, на правой — двигатель типа ДСД60-П1, на ось которого надевается и закрепляется тем или иным способом такой же диск, как и на левой стойке. На средней стойке укреплен столик для ленты и имеется гнездо для крепления головки записи. Все приведенные на рисунке размеры ориентировочные. Между дисками натянута (не очень туго) магнитная лента, склеенная в кольцо. Двигатель, вращая правый диск, тянет ленту слева направо.

Чтобы избежать проскальзывания ленты, обод правого диска перед постановкой опыта надо протереть канифолью.

Сложнее обстоит дело с головкой записи и воспроизведения. Такую головку можно купить в магазине культтоваров и укрепить на средней стойке как можно ближе к магнитной ленте (но лента не должна касаться головки). Можно головку изготовить и на кружковых занятиях. Проще всего магнитопровод изготовить из листов трансформатора от старого громкоговорителя. Его разбирают и листы ножницами обрезают так, как показано на

рисунке 198, *б*. Штриховой линией показаны отрезаемые части магнитопровода.

Повышающую обмотку трансформатора (если она исправна) можно использовать как обмотку магнитной головки. Если повышающая обмотка неисправна, ее надо намотать заново. Если же исправны обе обмотки, их надо соединить последовательно.

Изготовив действующие модели лентопротяжного механизма, собирают демонстрационную установку.

В качестве источника сигнала в установке проще всего использовать звуковой генератор. Включив лентопротяжный механизм на 5—6 с, отключают звуковой генератор, а вместо него подключают усилитель и громкоговоритель и прослушивают сделанную запись.

Если запись сигнала от звукового сигнала получится хорошо, можно записать человеческую речь. Несмотря на то что многие ученики имеют магнитофоны, запись речи на такой простой модели производит на учащихся сильное впечатление. Это, по-видимому, происходит потому, что до урока большинство учащихся не знали принципа магнитной записи.

§ 15. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Опыт 140. Зависимость сопротивления металлических проводников от температуры

Цель опыта. Создать экспериментальную основу для объяснения зависимости сопротивления металлических проводников от температуры.

Собирают цепь с низковольтным источником тока, специально подобранной спиралью из стальной проволоки ($l=0{,}5$—1 м, $s=$ $=0{,}3$—0,5 мм) и автомобильной лампой накаливания (напряжением желательно 6 В).

Установка для демонстрации выпускается промышленностью, но если ее нет в физическом кабинете, то ее легко изготовить. На стойке укрепляют патрон для лампы, на ней же устанавливают спираль так, чтобы ее удобно было нагревать спиртовкой или газовой горелкой. Когда спираль холодная, лампа горит ярко. Если нагревать спираль спиртовкой или газовой горелкой, то лампа горит тускло.

В опыте не производят никаких измерений, а делают лишь качественный вывод о зависимости сопротивления металлических проводников от температуры.

Опыт 141. Явление термоэлектронной эмиссии

Цель опыта. На примере вакуумного диода показать учащимся явление термоэлектронной эмиссии.

1. Объясняют учащимся устройство демонстрационного вакуумного диода. Для наглядности лампу можно спроецировать на

экран. На рисунке 199, *а* показан внешний вид диода, на рисунке 199, *б* — установка диода в проекционном аппарате.

Электроды — катод *1* и анод *2* — находятся в стеклянном баллоне *3*, имеющем форму цилиндра. В баллоне высокий вакуум, порядка 10^{-6} мм рт. ст.

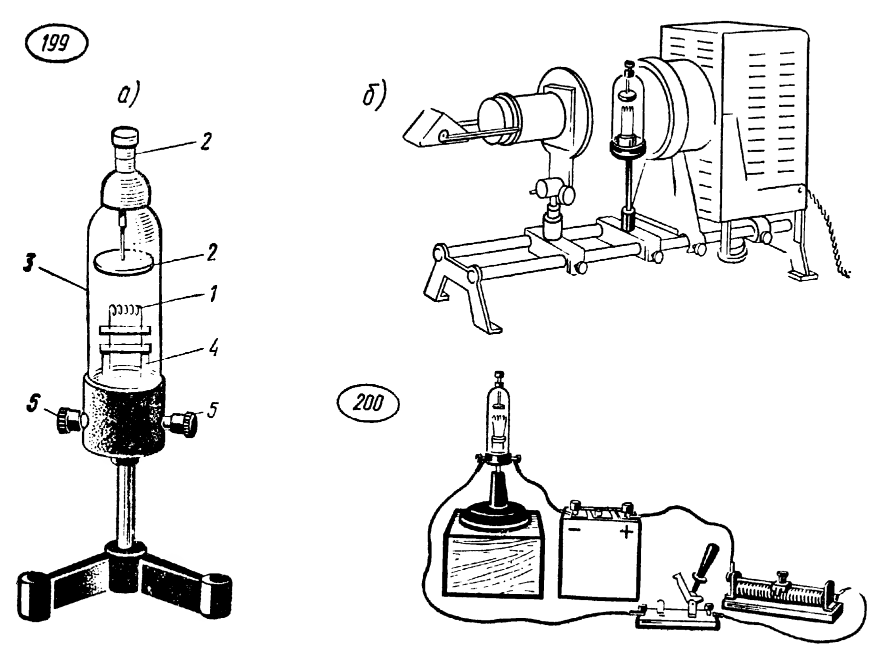
В лампе катод прямого накала. Это тонкая вольфрамовая проволока, свитая в спираль. Концы нити накала приварены к двум опорам *4*, которые выведены наружу и присоединены к винтовым зажимам *5* на цоколе, укрепленном на опорном стержне.

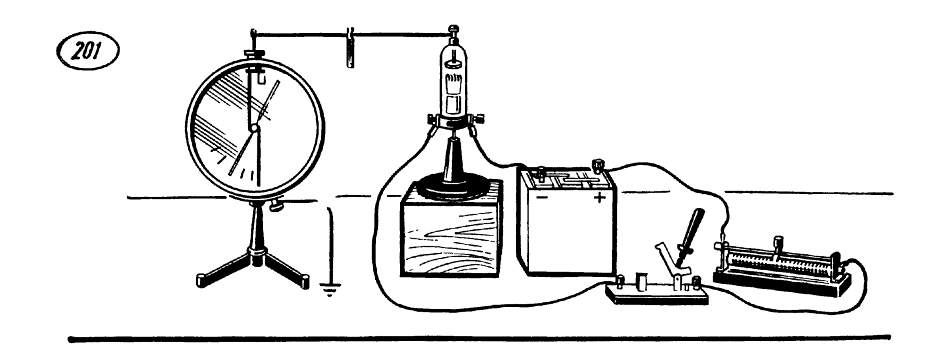
Анод диода — плоский диск из тугоплавкого материала. Расстояние между катодом и анодом около 10 мм. Подключен анод к выводу сверху баллона с винтовым зажимом.

Для питания демонстрационного диода нужно подать напряжение 6,3 В и обеспечить, чтобы сила тока в цепи была порядка 1,5—2 А. Для этого собирают цепь из батареи аккумуляторов, реостата (10 Ом, 2 А), ключа и нити накала лампы. При включении цепи с помощью реостата доводят катод до ярко-красного свечения. Силу тока в цепи накала не измеряют. На рисунке 200 показана установка для демонстрации накаливания катода.

Если в физическом кабинете нет демонстрационного диода, то для демонстрации берут какую-либо применяемую в радиоустройствах электронную лампу со стеклянным баллоном.

2. Установка для демонстрации изображена на рисунке 201. Электризуют палочку из органического стекла положительно (при трении о мех) и с ее помощью заряжают положительным зарядом электрометр. Некоторое время учащиеся наблюдают, что





электрометр сохраняет заряд. (Необходимо соблюсти все необходимые меры, чтобы из-за наличия остриев или просто из-за недостаточной изоляции заряды не стекали.) Далее включают цепь накала и замечают, что при разогревании нити электрометр быстро разряжается. Объясняют данный эффект тем, что накаленная нить испускает электроны, которые под действием электрического поля внутри лампы (впаянная пластина заряжена положительно) движутся к этой пластине и нейтрализуют ее заряд.

Повторяют опыт, зарядив электрометр с помощью эбонитовой палочки, потертой шелком, отрицательно. Теперь при включении накала лампы электрометр не разряжается. Данная демонстрация подтверждает, что испускаемые нитью частицы имеют отрицательный заряд.

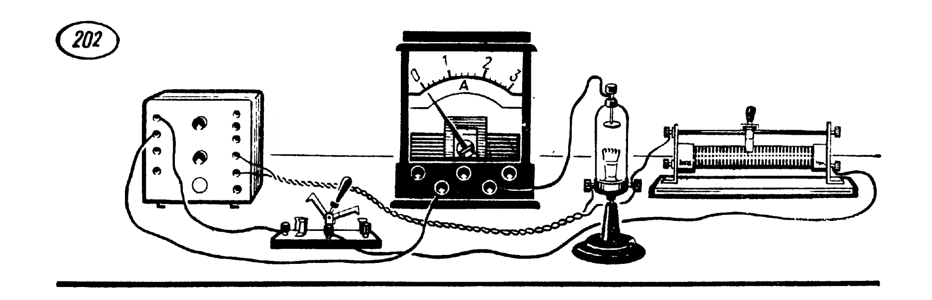
Демонстрация кинофрагмента «Термоэлектронная эмиссия»

Механизм термоэлектронной эмиссии недоступен непосредственному восприятию. Но средствами мультипликации можно условно его показать.

В кинофрагменте вначале показывается кристаллическая решетка металла и хаотически движущиеся электроны проводимости. Затем рассматривается поверхностный слой металла. Видно, что ионы кристаллической решетки и электроны, вылетевшие за пределы металла, образуют двойной электрический слой. Этот слой препятствует дальнейшему вылету электронов, ибо равнодействующая сил электростатического притяжения и отталкивания заставляет вылетающие электроны возвращаться в металл.

Далее разъясняется, что при невысоких температурах число электронов, вылетающих из металла, незначительно, так как большинство электронов обладают энергией, недостаточной для совершения работы выхода $A_{вых}$. При повышении температуры металл покидает большее число электронов, ибо увеличивается число электронов со значительным запасом энергии.

В заключение фрагмента показывается накаленная металлическая проволока в форме спирали — нить накала и излучение ею



термоэлектронов. Сообщается учащимся, что испускание электронов нагретым металлом называется термоэлектронной эмиссией.

Кинофрагмент «Термоэлектронная эмиссия» звуковой и при показе не требует дополнительных объяснений учителя.

Опыт 142. Односторонняя проводимость диода

Цель опыта. Закрепить представления учащихся о термоэлектронной эмиссии и показать одностороннюю проводимость вакуумного диода.

1. Собирают установку, изображенную на рисунке 202. Подключают (через ключ) нить накала демонстрационного диода к клеммам «6,3 В» универсального выпрямителя.

Анод подключают к клемме «+» регулируемого напряжения. Клемму «—» соединяют через высокоомный реостат с нитью накала. Анодное напряжение должно быть 60—70 В.

Включают цепь накала и наблюдают накаливание нити. Включив анодную цепь, наблюдают отклонение стрелки демонстрационного гальванометра. В анодной цепи есть ток. Выключив цепь, переключают полюсы источника тока в анодной цепи. Теперь при включении цепи стрелка гальванометра не отклоняется — тока в цепи нет.

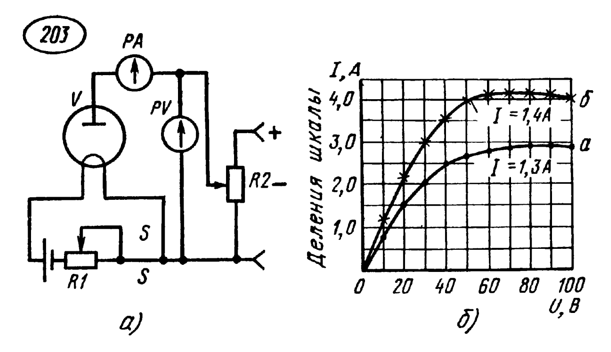
2. В кинокольцовке «Односторонняя проводимость диода» средствами мультипликации показывается действие электрического поля между катодом и анодом диода на электроны, эмиттированные катодом.

Кинокольцовка состоит из двух планов. На первом электроны движутся под действием сил электрического поля от катода к аноду, на втором электрическое поле препятствует движению электронов к аноду.

Полезно обратить внимание учащихся на то, что электроны, так как их заряд отрицателен, движутся не по направлению линий напряженности электрического поля, а в противоположную сторону.

Опыт 143. Вольт-амперная характеристика диода

Цель опыта. На качественном уровне познакомить учащихся со способом снятия вольт-амперной характеристики вакуумного диода.



На рисунке 203 приведена принципиальная схема собираемой установки. Силу тока в цепи не измеряют, а лишь регистрируют число делений по шкале гальванометра от демонстрационного амперметра. В цепи накала ток регулируется реостатом (10 Ом), а потенциометр собран на высокоомном реостате (1000 Ом).

Напряжение, подаваемое на диод, измеряют вольтметром. Если взять демонстрационный вольтметр со шкалой на 15 делений, то, подключив к нему добавочный резистор сопротивлением 33 кОм, можно получить вольтметр, каждое деление шкалы которого соответствует 10 В.

При использовании в качестве источника тока выпрямителя ВУП-1 обеспечивается питанием и накал диода, и анодная цепь. В этом случае потенциометр не нужен, так как высокое напряжение у ВУП-1 регулируется.

Если нет этого выпрямителя, то можно применить любой другой кенотронный выпрямитель или в крайнем случае для накала диода взять батарею аккумуляторов, а для питания анодной цепи использовать выпрямленное напряжение с электрораспределительного щита.

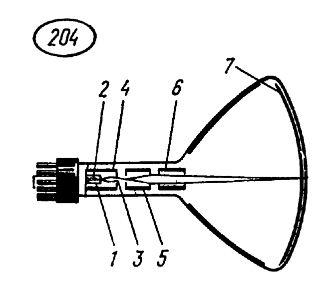
При демонстрации опыта изменяют напряжение в анодной цепи диода через 10 В и записывают соответствующие показания гальванометра. После этого по полученным значениям напряжения U и силы тока I (по числу делений шкалы) строят график зависимости I от U при неизменном напряжении накала лампы. Изменив напряжение накала, получают другую зависимость I от U.

Примерный характер полученных зависимостей показан на рисунке 201, *б*.

Опыт 144. Электронный прожектор в электронно-лучевой трубке

Цель опыта. Познакомить учащихся с устройством и работой электронного прожектора и на этом примере углубить представления учащихся о движении электронов в электрическом поле.

Пользуясь схемой (рис. 204), объясняют устройство электронно-лучевой трубки. Электронно-лучевая трубка состоит из четырех основных частей: колбы, в которой создан высокий вакуум,

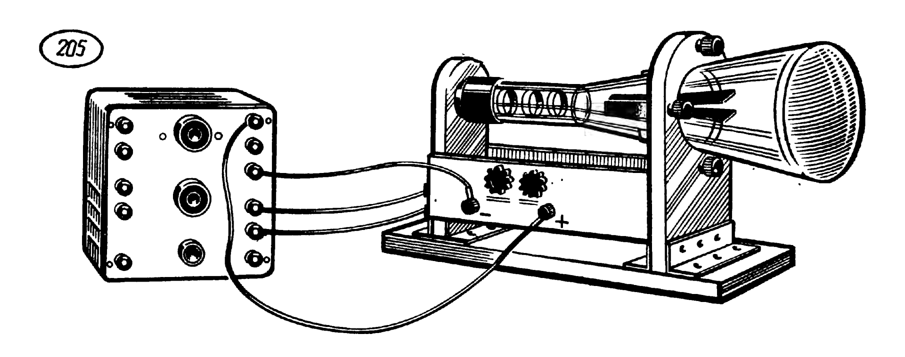


электронного прожектора (устройства, создающего сфокусированный и управляемый по интенсивности электронный пучок), системы отклонения луча и люминесцирующего экрана. Показывают эти основные части. Далее подробно объясняют устройство и действие электронного прожектора.

В горловине трубки расположен подогревный катод *1*. При накаливании вольфрамовой нити *2* покрывающий ее слой оксида бария или стронция *3* начинает излучать электроны. Вокруг никелевой трубочки-катода установлен другой никелевый цилиндр с отверстием в торце — управляющий электрод *4*. На него обычно подается небольшой отрицательный потенциал относительно катода. При изменении этого потенциала изменяется число электронов, проходящих через отверстие в управляющем электроде. Этим регулируется яркость пятна на экране трубки.

За управляющим электродом находится первый анод *5*, получивший название фокусирующего. Второй анод *6* называется ускоряющим. На него подается очень высокий положительный потенциал. Напряжение на фокусирующем аноде составляет 0,2—0,5 этого потенциала. Аноды имеют вид полых цилиндров, и внутри их создается электрическое поле с осевой симметрией. Подбирая напряжения на анодах, удается сфокусировать электронный пучок на люминесцирующем экране *7*.

Под действием электронов, имеющих большую скорость, а



следовательно, и энергию, экран в месте их ударов начинает светиться — люминесцировать.

Экраны современных трубок покрывают виллемитом, кремнекислым цинком и другими веществами (зеленое свечение) или смесью сернокислого цинка с сернокислым кадмием (светло-голубое или белое свечение). Есть множество и более сложных составов для покрытия экранов.

Устройство системы для электростатического отклонения луча здесь не рассматривают.

После этого показывают электронно-лучевую трубку, укрепленную на специальной подставке с вертикальной панелью и клеммами (рис. 205). Все эти клеммы имеют соединение с выводами на цоколе трубки. Для включения трубки собирают цепь, в которой резисторы *R1* и *R2* образуют делитель напряжения (рис. 206). Питание трубки осуществляется от универсального выпрямителя.

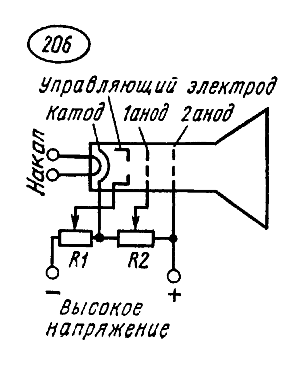
Вначале подают питание на накал, затем на аноды и управляющий электрод. Меняют напряжение на управляющем электроде и наблюдают, что при этом изменяется яркость пятна на экране трубки. Меняют напряжение на фокусирующем аноде, добиваясь фокусировки электронного луча. Создавать большую яркость и резкую фокусировку не следует из-за опасности прожога экрана.

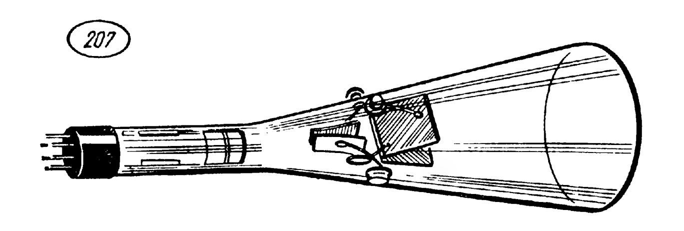
Опыт 145. Управление электронным пучком

Цель опыта. Та же, что и в опыте 144.

1. По схеме рисунка 207 объясняют учащимся, что в электронно-лучевой трубке с электростатическим управлением имеются две пары отклоняющихся пластин, расположенных под прямым углом друг к другу. Горизонтально расположенные пластины отклоняют луч по вертикали, вертикально расположенные пластины — по горизонтали. Между пластинами создают электрическое поле, которое и действует на пролетающие электроны. Электроны в поле движутся по параболам, а выйдя за пределы поля, продолжают прямолинейное движение по инерции.

Показывают отклоняющие пластины трубки. Как и в преды-





дущем опыте, подводят питание к трубке и наблюдают светящуюся точку на ее экране.

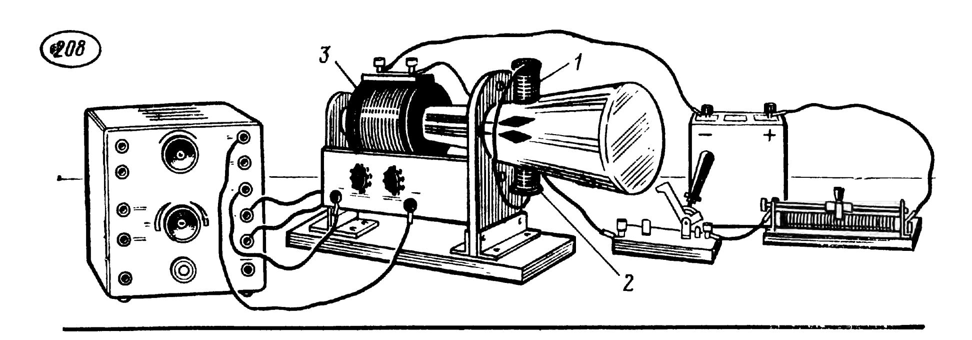
Вслед за этим на первую пару пластин (горизонтального отклонения) подают напряжение 200—250 В от выпрямителя. Пятно на экране при этом смещается по горизонтали на 5—6 см. Изменяют полярность и убеждаются, что луч отклоняется в другую сторону. Затем подводят напряжение от выпрямителя на другую пару пластин (вертикального отклонения) и наблюдают смещение луча.

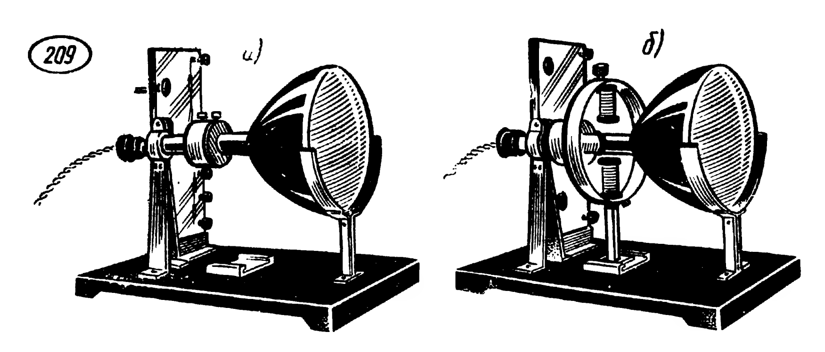
2. С помощью кинофильма «Электронно-лучевая трубка» закрепляют полученные на уроке сведения об электронно-лучевой трубке и знакомятся с ее использованием в электронном осциллографе.

Опыт 146. Магнитная линза

На горловину электронно-лучевой трубки с магнитным управлением надевают фокусирующую катушку, или, как часто говорят, магнитную линзу. Демонстрационная модель магнитной линзы представляет собой многослойную катушку, намотанную проводом 0,1 мм с эмалевой изоляцией. Длина катушки 60 мм, внутренний диаметр равен диаметру трубки, число витков 2000—3000. Включив питание электронно-лучевой трубки, наблюдают на экране трубки размытое светящееся пятно. Схема питания трубки показана на рисунке 208.

Подключив фокусирующую катушку к выводам регулируемого напряжения ВУП-1, подбирают нужную силу тока, при которой все электроны попадают примерно в одну и ту же точку экрана.





Опыт 147. Электронно-лучевая трубка с магнитным управлением луча

Цель опыта. Познакомить учащихся с принципом магнитного управления электронными пучками и тем самым углубить, расширить и закрепить представления учащихся о движении электронов в магнитном поле.

Электронно-лучевую трубку 18ЛК-2Б (или любую трубку с магнитным управлением луча) с надетой магнитной линзой устанавливают на подставке и подключают к высоковольтному выпрямителю (рис. 209, *а*). Сфокусировав луч, на экране наблюдают светящееся пятно.

Подносят к трубке постоянный магнит и наблюдают отклонение электронного пучка магнитным полем. Заменяют магнит электромагнитом. Меняя постоянный ток, проходящий через обмотку электромагнита, замечают, что отклонение светлого пятна на экране трубки тем больше, чем больше сила тока в катушке.

Отключив электромагнит от источника постоянного тока, пропускают через его обмотку переменный ток. Наблюдают на экране светящуюся полосу, длина которой зависит от силы тока, проходящего через обмотку. Установив около горловины трубки отклоняющую систему из четырех катушек, соединенных попарно, пропускают через каждую пару катушек переменный ток (рис. 209, *б*). Наблюдают, что одна пара катушек отклоняет электронный пучок по горизонтали, другая — по вертикали, а обе вместе — под углом 45° к горизонту.

Из опыта делают вывод, что движением электронного пучка можно управлять с помощью магнитного поля.

Для закрепления знаний учащихся о движении электронов в магнитном поле целесообразно продемонстрировать фрагмент из учебного кинофильма «Электронно-лучевая трубка», в котором показано устройство магнитной отклоняющей системы и движение электронов в магнитном поле. Демонстрация фрагмента продолжается 2 мин.

Демонстрация кинофильма «Электронно-лучевая трубка»

Кинофильм (звуковой) состоит из двух частей и требует для показа 20 мин.

В первой части фильма рассматривается устройство электронно-лучевой трубки, получение и формирование электронного луча, управление им.

Во второй части фильма показывается, как образуются осциллограммы в осциллографе, объясняется действие генератора развертки (на неоновой лампе). Вполне возможно, что при просмотре этой части у учащихся возникнут затруднения. Поэтому после демонстрации кинофильма учитель должен дать более полное объяснение.

Просмотр кинофильма ни в коей мере не исключает демонстрацию учителем электронного осциллографа. Этот прибор уже применялся в опытах раньше. Теперь показывают его основные части и ручки управления. Для понимания всех манипуляций при работе с осциллографом после просмотра кинофильма имеются все условия.

Опыт 148. Электропроводность дистиллированной воды

Цель опыта. Показать, что дистиллированная вода практически не проводит электрического тока.

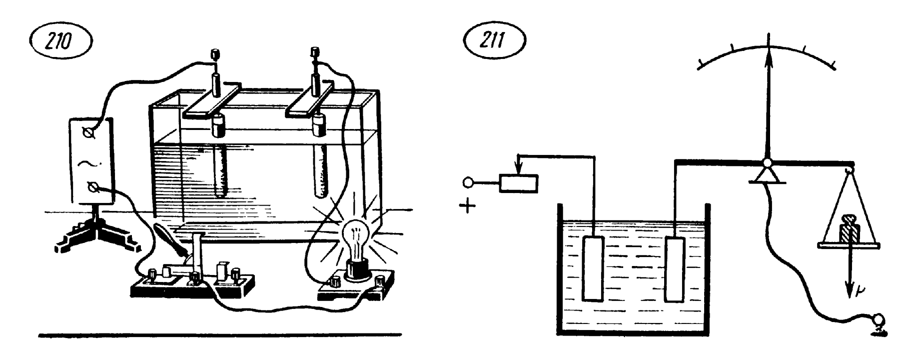
Собирают цепь, изображенную на рисунке 210. (Угольные электроды перед опытом тщательно очищают мелкой наждачной бумагой и промывают дистиллированной водой. В сосуд также наливают дистиллированную воду.) Замкнув цепь, видят, что лампа не светит. Соединив электроды разрядником, убеждаются в том, что в цепи есть напряжение и соединительные проводники исправны. Так как нить лампы не накаляется, делают вывод, что дистиллированная вода является диэлектриком, изолятором.

Опыт 149. Электропроводность раствора серной кислоты

Цель опыта. Показать на опыте, что раствор серной кислоты в воде — проводник электрического тока.

Вначале повторяют опыт с дистиллированной водой.

С помощью пипетки вносят в дистиллированную воду несколько капель раствора серной кислоты. Лампа начинает светиться, причем ее свечение усиливается по мере добавления серной кис-



лоты, т. е. проводимость раствора серной кислоты зависит от ее концентрации.

Объясняют причины электропроводности раствора серной кислоты.

Говоря об электролитической диссоциации, следует подчеркнуть, что диссоциируют не все вещества. Для диссоциации необходимы особые свойства растворителя и полярность молекул растворяемого вещества. У учащихся не должно создаваться неправильных представлений, что вода не проводит электрический ток. Этим свойством обладает только дистиллированная вода. Вода, взятая из водопровода или из колодца (будем ее называть питьевой водой), содержит в растворенном виде различные соли и потому является проводником электрического тока. Убеждаются в этом на опыте.

В вольтаметр наливают питьевую воду и опускают угольные электроды. При замыкании цепи лампа светится неполным накалом. Это свидетельствует о том, что питьевая вода проводит ток, но значительно хуже, чем раствор серной кислоты и многие другие растворы. Это объясняется малой концентрацией солей, растворенных в воде.

Опыт 150. Электролиз раствора сульфата меди

Цель опыта. Познакомить учащихся на опыте с явлением электролиза.

Для опыта приготавливают раствор сульфата меди. Концентрация его может быть различной. Лучше всего сульфат меди растворить при комнатной температуре, взяв его в избытке и слив раствор.

Наливают раствор в стеклянный сосуд. Один угольный электрод укрепляют в специальном держателе и опускают его в раствор. Другой электрод вместе с соединительными проводниками подвешивают к коромыслу весов и уравновешивают их. Электрод при этом тоже погружен в раствор (рис. 211).

Собирают электрическую цепь. В качестве источника тока применяют батарею аккумуляторов, демонстрационный амперметр берут с шунтом на 3 А, переключив его на постоянный ток. Подвешенный к коромыслу весов электрод соединяют с отрицательным полюсом батареи аккумуляторов.

В опыте, во-первых, показывается сам факт отложения металла на катоде, во-вторых, качественно демонстрируется зависимость массы выделившегося на катоде вещества от силы тока и времени его прохождения.

Замечают время и включают собранную цепь, реостатом устанавливают силу тока порядка 1—2 А. Столь большой ток необходим, чтобы сократить время демонстрации. По мере выделения меди на катоде равновесие весов нарушается. Через некоторое время (несколько минут) выключают цепь и уравновешивают весы. Масса выделившегося вещества равна массе дополнительных гирь. Вынимают на время электрод и показывают, что он покрыт слоем отложившейся меди.

Демонстрация кинофильма «Электролиз и его промышленное применение»

В начале кинофильма средствами мультипликации показано движение ионов в растворе электролита.

Затем показано предприятие по рафинированию меди и предприятие по выплавке алюминия.

Опыт 151. Разряд электрометра под действием внешнего ионизатора

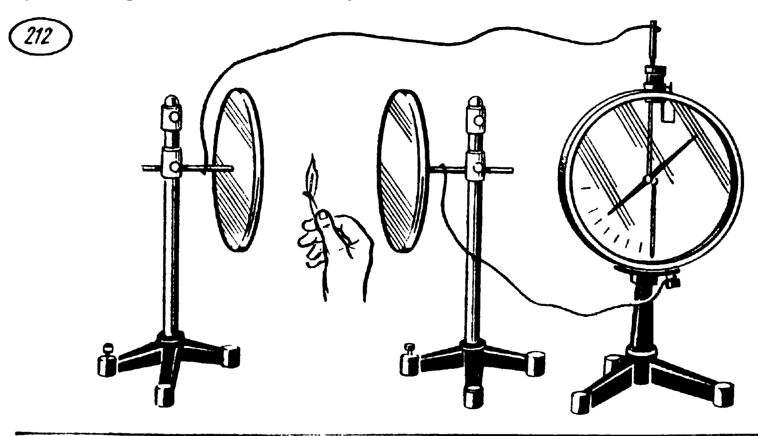
Цель опыта. Показать несамостоятельную проводимость воздуха и ввести первоначальные представления об ионизаторах.

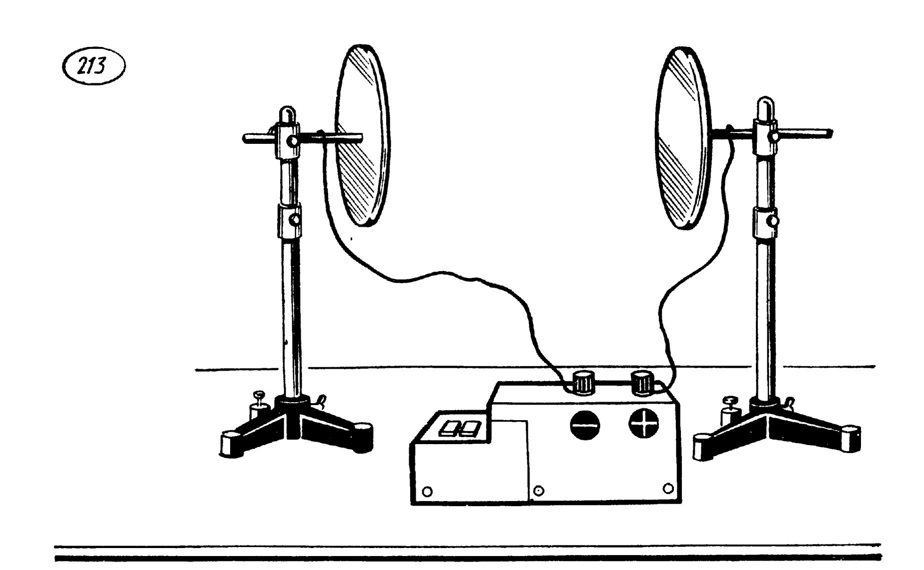
Собирают установку (рис. 212) с раздвижным конденсатором, обкладки которого соединяют с электрометром (одну со стержнем, а другую с корпусом). Заряжают конденсатор с помощью какой-либо палочки, при этом стрелка электрометра отклоняется. Если затем внести в промежуток между обкладками конденсатора пламя свечи или даже пламя спички, то конденсатор разрядится и стрелка электрометра установится на нуле.

Объяснить происходящие при этом явления не так просто. Дело в том, что температура пламени очень низка для осуществления термоионизации, т. е. не может произойти ионизация при столкновении атомов, получивших очень большие энергии в результате теплового движения. Поэтому механизм ионизации пламенем можно вообще не объяснять и ограничиться лишь сообщением того, что ионизация осуществляется за счет энергии, выделяющейся при химической реакции горения.

В продуктах сгорания образуется большое число ионов, которые и вызывают электропроводность воздуха в промежутке между пластинами раздвижного конденсатора.

Разряд электроскопа под действием рентгеновского излучения можно продемонстрировать, показав кинокольцовку «Свойства рентгеновых лучей». Среди других свойств рентгеновых лучей здесь рассматривается и ионизующее их свойство.


212



Опыт 152. Несамостоятельный и самостоятельный разряды в газах

Цель опыта. Показать основное отличие несамостоятельного разряда от самостоятельного.

Устанавливают на изолирующих штативах пластины конденсатора и соединяют их с электродами высоковольтного выпрямителя (рис. 213) или с кондукторами электрофорной машины.

Пластины конденсатора устанавливают на таком расстоянии, чтобы между ними при работе выпрямителя не проскакивала искра. Газовый промежуток при этом является изолятором.

Затем в пространство между пластинами конденсатора вводят газовое пламя или пламя спиртовки при выключенном выпрямителе. После включения индуктора сразу же начинается разряд, что свидетельствует о появлении ионов. Выносят пламя, и разряд прекращается. Делают вывод, что разряд, происходящий только при наличии внешнего ионизатора, следует считать несамостоятельным разрядом.

Затем выключают выпрямитель и сближают обкладки конденсатора. (Расстояние, до которого нужно сближать обкладки, следует установить заранее опытным путем.) При включении выпрямителя возникает разряд, хотя внешнего ионизатора нет. Делают вывод, что данный разряд естественно назвать самостоятельным разрядом.

Выясняют с учащимися, что произошло при сближении обкладок конденсатора. Так как выпрямитель практически дает постоянное напряжение, то при уменьшении расстояния между пластинами увеличивается напряженность электрического поля

$E = \frac{U}{l}$. Но в воздухе всегда имеются, хотя и в малом числе, электроны и ионы. Они возникают в основном в результате действия космических лучей и других излучений. В поле большой напряженности электроны приобретают уже такую энергию, что производят ионизацию, сталкиваясь с нейтральными молекулами. Процесс образования электронов и ионов при этом развивается лавинообразно, в результате чего и возникает самостоятельный разряд.

Опыт 153. Коронный разряд

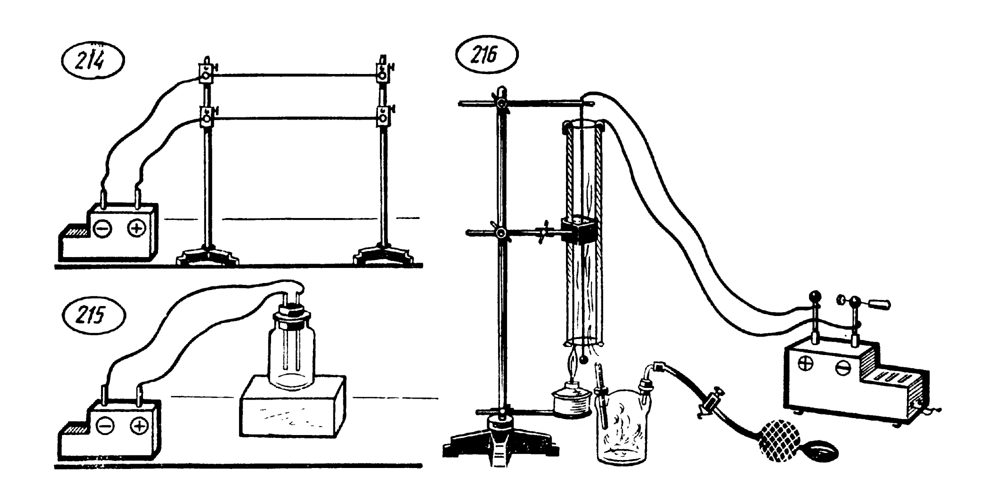
Цель опыта. Показать учащимся один из видов самостоятельного разряда в воздухе.

Между двумя изолирующими штативами натягивают параллельно две тонкие проволоки и концы их присоединяют к полюсам высоковольтного выпрямителя (рис. 214). Затемняют класс и включают выпрямитель. Возле проволок заметно слабое свечение и слышен шипящий звук и потрескивание.

Коронный разряд виден на расстоянии не более 2 м. Поэтому надо попросить учащихся, сидящих за последними столами, подойти ближе к демонстрационному столу учителя.

Если электрод имеет острые выступы, то может возникнуть кистевой разряд (свечение в виде кисти). (Очень просто кистевой и коронный разряды получить в трансформаторе Тесла. Однако применять данный прибор вряд ли целесообразно, так как в школе при изучении данной темы нельзя объяснить его действие.)

В заключение объясняют учащимся, что коронный разряд приводит к значительным потерям энергии при передаче электроэнергии.



Опыт 154. Модель электрофильтра

Цель опыта. Показать на опыте принцип действия электрофильтра.

Берут стеклянную банку с широким горлом (рис. 215). В пробке банки делают на большом расстоянии друг от друга два узких отверстия и пропускают через них тонкую медную проволоку. Банку заполняют дымом и закрывают пробкой так, чтобы концы проволок не замкнулись между собой. Проводники соединяют с электродами высоковольтного выпрямителя или высоковольтного индуктора либо с кондукторами электрофорной машины и подают высокое напряжение. Дым в банке исчезает.

Объясняют происходящее явление. При включении высокого напряжения у проводников возникает корона — происходит сильная ионизация воздуха. В электрическом поле между проволочками движутся газовые ионы, но они соударяются с частицами, образующими дым, и заряжают их. Заряженные частицы дыма под действием электрического поля движутся к проволочкам (электродам) и оседают на них.

Для очистки газов на производстве электрофильтры строятся в виде вертикальных труб большой высоты. Модель для демонстрации устройства и действия такого электрофильтра можно собрать из подручных материалов (рис. 216). Для этого берут стеклянную трубку длиной 30—40 см и возможно большего сечения (диаметром 6—10 см). Внутри трубки вдоль ее стенки протягивают длинную узкую станиолевую ленту и концы ее приклеивают. Трубку укрепляют вертикально на универсальном штативе так, чтобы снизу можно было заполнить ее дымом. На изолированном стержне, расположенном над трубкой, подвешивают тонкую проволоку с тяжелым шариком на конце. Проволока должна располагаться вдоль оси трубки и не касаться ее стенок. Концы проволоки и станиолевой ленты соединяют проводниками с высоковольтным выпрямителем.

При включении выпрямителя газ в трубке очищается от частичек дыма, подаваемого снизу.

Можно показать не оба, а какой-нибудь один из этих опытов.

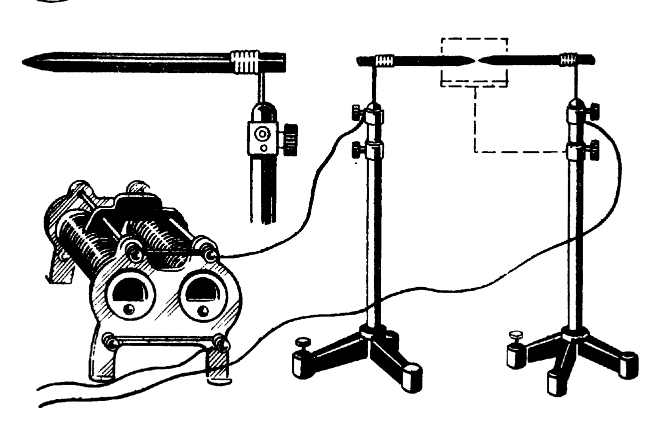
Опыт 155. Дуговой разряд

Цель опыта. Показать один из видов самостоятельной проводимости воздуха, имеющий широкое применение в технике.

Собирают электрическую цепь, в которой последовательно соединены электрическая дуга и реостат (рис. 217). Реостат вначале включают на максимальное сопротивление 10 Ом.

Яркое пламя дуги, если не принять необходимых предохранительных мер, может ослепить на время и учителя, и учащихся. Поэтому со стороны класса необходимо перед дугой поставить плотный светофильтр (на рисунке 217 его место обозначено штриховой линией), а учитель должен проводить опыт в защитных очках.





Для выбора источника тока существенное значение имеет то обстоятельство, что дуговой разряд возникает при сравнительно невысоком напряжении 30—50 В, но для его поддержания необходима большая сила тока, зависящая от диаметра используемых углей. Чтобы избежать необходимости больших токов, надо для опыта брать угли диаметром не более 5 мм. В этом случае дуга будет потреблять силу тока 5—6 А. Принципиально важно знать, что сопротивление места соприкосновения углей значительно больше сопротивления газового промежутка между углями при горении дуги. Поэтому последовательно с дугой обязательно надо включить реостат сопротивления 10—20 Ом, рассчитанный на силу тока до 1 А. Дугу следует питать переменным током от школьного щита любого типа, но особенно удобен щит КЭФ-10, позволяющий получить необходимые для зажигания дуги напряжение 42 В и силу тока до 10 А.

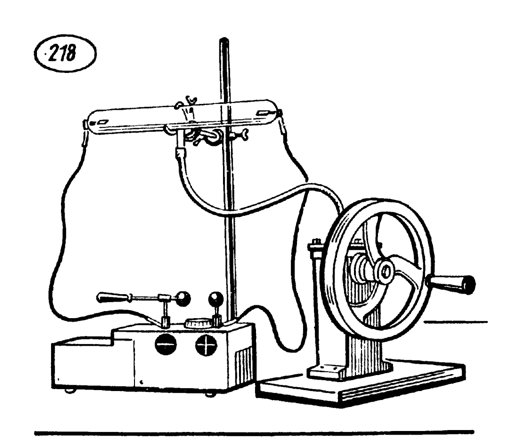
Подав на электроды необходимое напряжение, уменьшают сопротивление включенной части реостата и сдвигают угли до соприкосновения. Когда в месте контакта угли накалятся, их постепенно разводят и чуть-чуть уменьшают сопротивление включенной части реостата. При этом между углями возникает дуга.

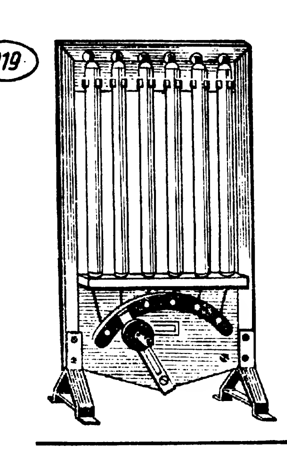
Дугу демонстрируют непродолжительное время, ибо в противном случае ее надо регулировать. Кроме того, нельзя допускать очень сильного нагревания демонстрационного реостата.

Опыт 156. Тлеющий разряд

Цель опыта. Показать учащимся один из видов широко используемого в технике самостоятельного разряда в газах при пониженном давлении.

Вариант А. Собирают установку (рис. 218), в которой к электродам высоковольтного индуктора (в последние годы высоковольтные индукторы не производятся, но в большинстве школ они имеются. Там, где их нет, можно использовать электрофорную машину) подключены выводы стеклянной трубки с патруб-





ком. Индуктор питается от батареи аккумуляторов. Контакты индуктора поставлены на таком расстоянии, чтобы в воздухе между ними не мог возникнуть разряд. На патрубок стеклянной трубки надевают резиновый шланг от насоса Комовского.

Вначале включают индуктор и наблюдают, что в трубке разряда нет.

С помощью насоса Комовского создают в трубке разрежение. При некотором разрежении в трубке вспыхивает разряд. Вначале разряд имеет форму тонких светящихся нитей, а затем шнура. При дальнейшем понижении давления светящийся шнур размывается и расширяется, пока не займет почти всю трубку. Удается заметить при этом и определенное строение столба светящегося разреженного газа в трубке.

Около катода наблюдается темное пространство, а у анода — положительный светящийся столб. Меняя полярность, показывают, что темное пространство и светящийся столб возникают у разных электродов.

С помощью насоса Комовского удается достичь лишь такого разрежения воздуха, что появляется свечение, занимающее почти всю трубку, — это тлеющий разряд.

Опыт следует показывать в полностью затемненном помещении, так как при естественном освещении возникновение разряда в трубке заметить невозможно, ибо его яркость мала.

Вариант Б. Демонстрируют свечение газа в трубках шкалы пустот. Шкала пустот состоит из шести трубок (рис. 219), в каждой из которых имеются два электрода. Давление газа в трубках с первой до шестой соответственно равно 30; 10; 4; 0,5; 0,2—0,1 и 0,03—0,02 мм рт. ст. Укреплены все трубки на раме-стойке и могут включаться поочередно с помощью специального переключателя. Напряжение к трубкам подводят от высоковольтного выпрямителя.

Клеммы на приборе соединяют с электродами высоковольтного индуктора и, поставив переключатель в первое положение, под-

ключают первую трубку. Включив индуктор, наблюдают разряд в первой трубке. Последовательно переключателем включают поочередно все трубки. Свечение газа в них разное.

В трубке 1 разряд имеет вид тонкого светящегося шнура.

В трубке 2 разряд занимает почти всю трубку и уже намечается темное катодное пространство.

В трубке 3 явно видны темное катодное пространство и положительный анодный столб.

В трубке 4 наблюдаются страты, т. е. положительный анодный столб разбивается на отдельные слои.

В трубке 5 темное катодное пространство занимает бóльшую часть трубки, страты становятся более широкими и расплывчатыми. Цвет свечения газа изменяется, становится более бледным и наблюдается зеленоватое свечение стекла.

И наконец, в трубке 6 полностью исчезает положительное анодное свечение, все стенки трубки, лежащие против катода, светятся зеленым светом, а возле катода появляется слабое голубоватое свечение.

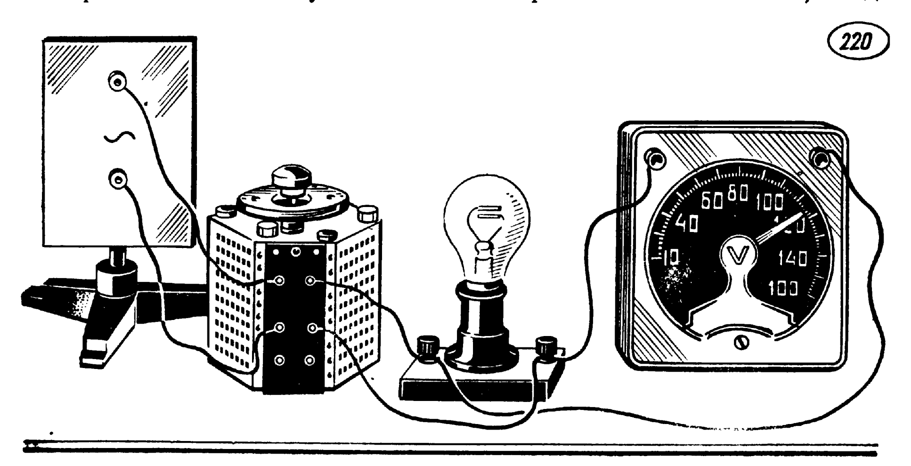
Опыт 157. Применения тлеющего разряда

Тлеющий разряд применяется в неоновых лампах и газосветных трубках.

Действие неоновой лампы показывают сначала в цепи постоянного тока, потом в цепи переменного тока. При возникновении тлеющего разряда такая лампа светится. При постоянном токе свечение будет лишь у одного электрода (анода), а при переменном токе — у обоих электродов.

Собирают цепь из автотрансформатора, неоновой лампы и вольтметра (рис. 220). Вольтметр можно взять демонстрационный, предварительно переключив его на переменный ток и подключив добавочный резистор сопротивлением на 250 В.

Вначале при напряжении, близком к нулю, неоновая лампа не горит. Постепенно увеличивают напряжение и замечают, когда



лампа загорится. Напряжение, при котором происходит зажигание лампы, называется напряжением зажигания. При дальнейшем увеличении напряжения неоновая лампа все время горит.

Теперь постепенно уменьшают напряжение. При некотором напряжении (напряжение погасания) лампа гаснет. Опыт показывает, что напряжение погасания ниже напряжения зажигания.

Объяснять процессы, происходящие в неоновой лампе, не следует, так как тлеющий разряд в газах был уже разобран. Следует только указать, что неоновые лампы имеют самое различное назначение и по конструкции отличаются друг от друга.

Наряду с неоновыми лампами показывают газосветные или гейслеровы трубки Это помогает разъяснить принцип действия световых реклам с газосветными трубками.

Опыт 158. Электроискровая обработка металлов

Цель опыта. Показать учащимся принцип электроискровой обработки сверхтвердых материалов.

Демонстрацию принципа работы устройств для электроискровой обработки металлов проводят в проекции. Выпускаемый для этой цели прибор ОИМ состоит (рис. 221, *а)* из плоской кюветы *1* и крышки из изоляционного материала *2*. На крышке установлены две клеммы, винты подачи «Инструмент» *3* и «Держатель обрабатываемой детали» *4*. В качестве модели обрабатываемой детали берется половинка лезвия от безопасной бритвы. Винт электрически соединен с клеммой «—», а держатель обрабатываемой детали — с клеммой «+».

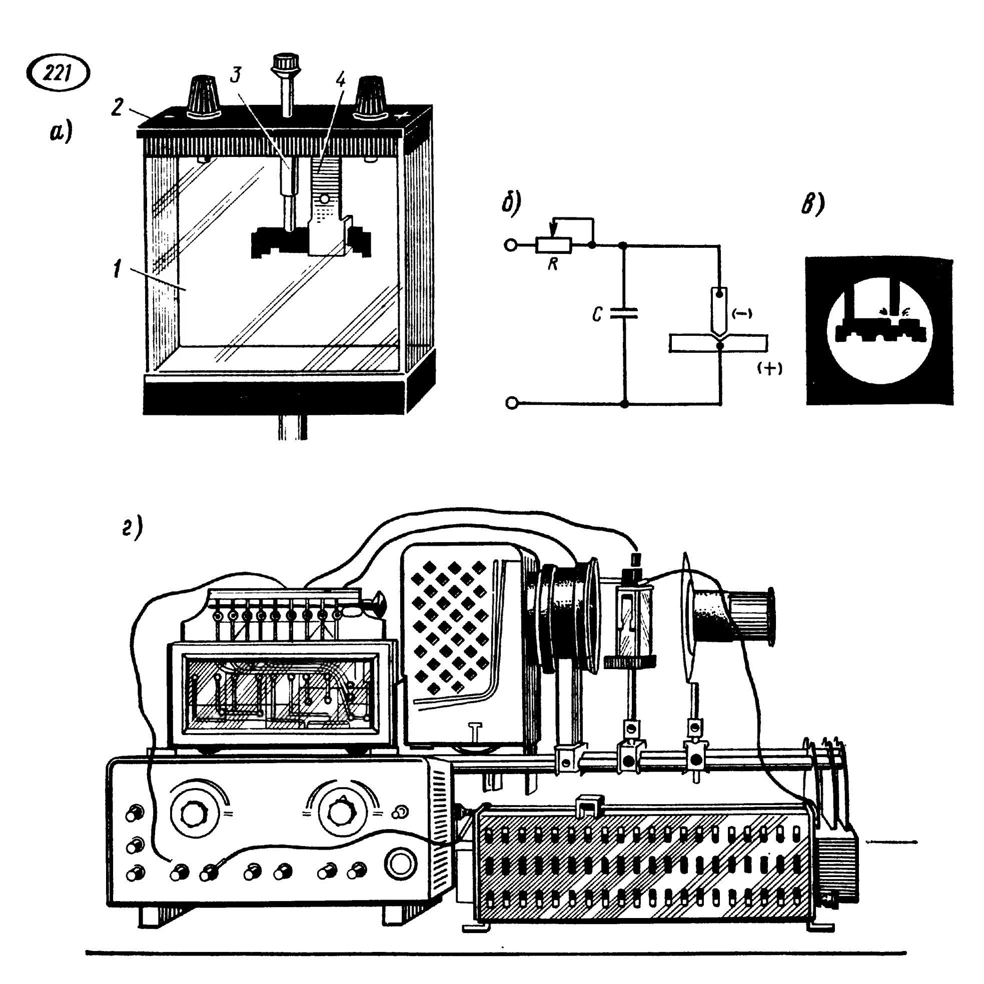
Для опыта собирают установку, изображенную на рисунке 221, *г*. Электрическая схема этой установки приведена на рисунке 221, *б*. В кювету наливают керосин или прозрачное машинное масло, столько, сколько нужно для того, чтобы над лезвием бритвы был слой толщиной 10—22 мм.

Собрав установку, включают проекционный аппарат и добиваются резкого изображения лезвия бритвы. Подняв винт, устанавливают в цепи напряжение постоянного тока 60—100 В. Электроемкость включенной части батареи конденсаторов 50—60 мкФ. Сопротивление реостата 100—200 Ом.

Назначение реостата — ограничивать силу тока в цепи в момент соприкосновения катода с лезвием бритвы.

Подают напряжение и, вращая винт, приводят его в кратковременное соприкосновение с лезвием. Выключают освещение аудитории и повторяют манипуляции с винтом, вращая его то чуть вправо, то чуть влево. На экране при этом наблюдается сначала помутнение в месте соприкосновения винта с бритвой, а затем и погружение винта в лезвие (рис. 221, *в*). Если во время опыта выключить осветитель проекционного аппарата, то на экране можно заметить (при хорошем затемнении) отдельные искры в месте соприкосновения винта с бритвой.

Объясняя наблюдаемое явление, надо рассказать учащимся, что между винтом и лезвием при их сближении происходят очень



короткие искровые разряды, во время которых выделяется большое количество теплоты, идущей на плавление, частичное испарение и взрывоподобный выброс с поверхности детали (лезвия).

Опыт 159. Электросварка

Перед демонстрацией дуговой сварки с помощью угольного электрода показывают учащимся две заранее приготовленные железные полоски, вырезанные из кровельного железа (можно вырезать полоски из материала консервной банки), предназначенные для электросварки. Затем эти полоски и проводник (проводник надо зажать между свариваемыми пластинами. Для того чтобы верхние концы свариваемых пластин заметно не разошлись, проводник надо взять многожильный и очищенный от изоляции, конец разделить на отдельно расположенные жилы), с помощью которого к ним будет подводиться электрический ток через хорошо изолирующие прокладки (например, из асбеста, резины

или пластика), прочно закрепляются в лапку штатива так, чтобы их верхние края были параллельными.

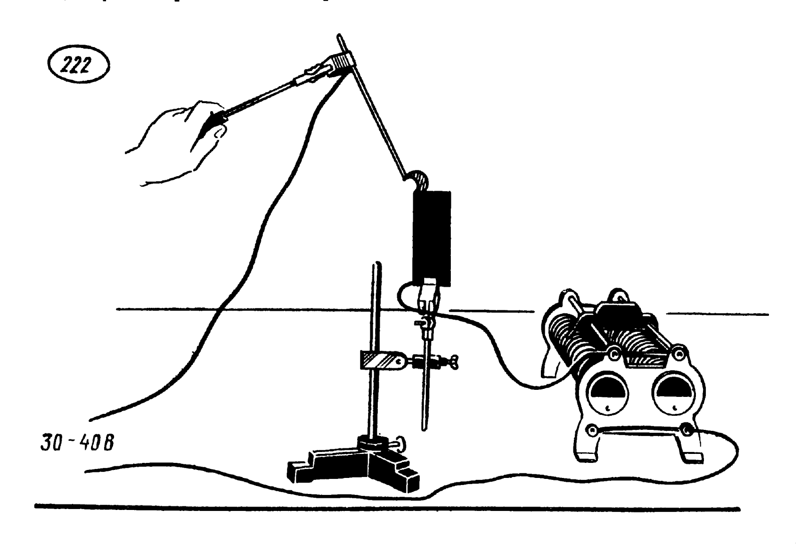
Во второй зажим от штатива (также через изолирующую прокладку!) закрепляют угольный стержень (можно, например, взять стержень от карандаша) небольшого диаметра (от диаметра электрода зависит необходимая для образования устойчивой дуги сила тока. Так, например, при диаметре электрода 5—8 мм необходима сила тока 5—8 А) и проводник, через который к нему будет подводиться ток. Оголенную часть проводника надо намотать аккуратно на угольный стержень, покрыть асбестом (или стеклянной ватой) и замотать изоляционной лентой.

Для демонстрации собирают установку, изображенную на рисунке 222. Реостат должен быть рассчитан на силу тока 10 А. Его назначение — ограничивать силу тока в цепи в момент соприкосновения со свариваемыми пластинами. Сопротивление реостата около 10 Ом.

На установку подается переменный ток при напряжении 30—40 В.

Надев защитные очки и поставив (со стороны аудитории) около свариваемых пластин защитный светофильтр, подают напряжение. Коснувшись электродом пластин, отодвигают его от пластин, получают дуговой разряд (это требует определенных навыков, поэтому опыт надо многократно повторить до урока). Получив устойчивый дуговой разряд, медленно перемещают электрод над свариваемыми пластинами, следя за тем, чтобы торцы пластин плавились, но не горели в пламени дуги.

Отодвинув электрод от пластин, гасят дугу, отключают напряжение и объясняют учащимся, что в технике вместо угольного электрода часто используют металлический, покрытый снаружи специальным слоем (флюсом), в состав которого входят вещества, предохраняющие расплавленный металл от окисления.



За время этого краткого объяснения сварной шов успевает остыть. Вынимают пластины из зажима и демонстрируют, что они соединены сварным швом. Если приобретен опыт в постановке демонстрации, шов получается прочным. Сгибая и разгибая пластины по месту шва, демонстрируют учащимся его прочность.

Ту часть стола, где будет расположен штатив со свариваемыми пластинами, перед сборкой установки надо покрыть куском стекла или фанеры: иногда капли расплавленного металла падают на стол и могут повредить его поверхность.

Опыт 160. Электрическая резка металла

В лапку штатива установки, описанной в предыдущем опыте, закрепляют тонкий лист металла (например, вырезанный из консервной банки). Получив электрическую дугу, медленно перемещают ее вдоль листа. Дуга прожигает пластину и отрезает от нее заранее намеченную часть.

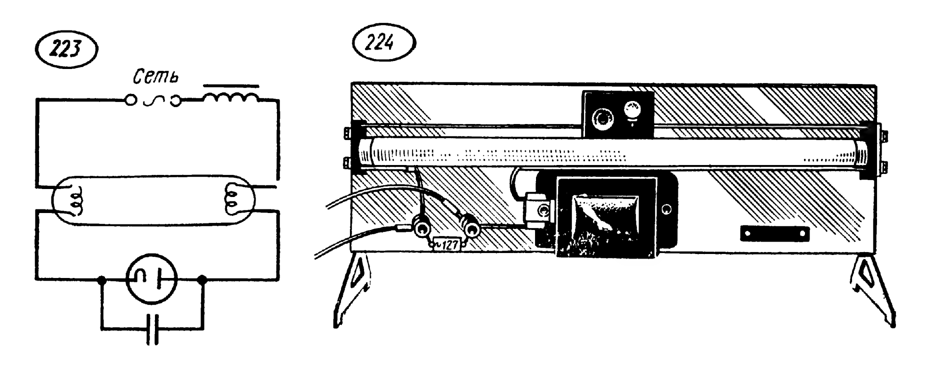
Опыт 161. Люминесцентная лампа

Цель опыта. Объяснить устройство и показать схему включения люминесцентной лампы.

Люминесцентная лампа, или лампа дневного света, представляет собой стеклянную трубку, на торцах которой имеются вольфрамовые нити накала (катоды), покрытые оксидами. Внутренняя поверхность трубки покрыта люминофорами. Внутри трубки имеются аргон и пары ртути при давлении порядка 0,01 мм рт. ст.

Когда нити накала нагреваются, они испускают электроны. Если к трубке приложить напряжение, то возникнет разряд. Разряд в парах ртути и аргоне сопровождается ультрафиолетовым излучением. Эти лучи вызывают свечение люминофора, которое мы видим. Сами же ультрафиолетовые лучи поглощаются стеклом трубки. Спектр испускаемого люминофором света близок к спектру дневного света.

Нити накала лампы соединены между собой последовательно, но ток через них должен проходить очень непродолжительное время (максимально 2—3 с), в противном случае нити сгорят. Для автоматического замыкания и размыкания тока, про-



ходящего через нити накала лампы, применяют специальное устройство, получившее название стартера.

Схема включения люминесцентной лампы приведена на рисунке 223 и внешний вид — на рисунке 224. Последовательно в цепь лампы включен дроссель низкой частоты, ограничивающий ток.

Подробнее останавливаются на устройстве и принципе действия стартера. Стартер — небольшая лампа с биметаллической пластинкой. При включении в стартере возникает тлеющий разряд, биметаллическая пластинка нагревается и замыкает контакты. При этом ток проходит через нити накала. Когда возникает разряд в лампе дневного света, напряжение на стартере уменьшается (часть напряжения падает на дросселе) и газовый разряд в стартере прекращается. Биметаллическая пластинка охлаждается и размыкает контакты. Ток не будет теперь проходить через нити накала. Разряд в лампе продолжается, но нити накала теперь играют роль электродов.

Целесообразно показать люминесцентную лампу вначале без стартера, заменив его ключом, а потом со стартером.

Собирают установку. На вертикальной панели устанавливают лампу, вместо стартера ставят ключ. Чтобы зажечь лампу, включают ее в сеть, замыкают и размыкают ключ, повторяя это до тех пор, пока лампа не загорится. Затем ключ размыкают.

Далее выключают лампу из сети, ставят вместо ключа стартер и вновь включают лампу.

Первоначально загорается стартер, потом лампа. Стартер и лампа могут включаться и выключаться несколько раз. Когда лампа начинает гореть устойчиво, стартер гаснет.

Объясняют учащимся, что при этом происходит, и сообщают, что люминесцентные лампы являются более совершенными источниками света по сравнению с обыкновенными лампами накаливания. Их КПД примерно в 4 раза больше. Благодаря этому они и находят все более широкое применение.

Опыт 162. Зависимость сопротивления полупроводников от температуры

Цель опыта. Показать на опыте одно из характерных отличий полупроводников от проводников.

Собирают последовательно цепь из терморезистора, гальванометра и батареи аккумуляторов. Замкнув цепь, наблюдают небольшое отклонение стрелки гальванометра. Подносят на расстояние 5—10 см к терморезистору зажженную спичку и замечают значительное отклонение стрелки.

Для успешного опыта важно, чтобы сопротивление терморезистора было небольшим. Поэтому лучше взять 2 или даже 3 терморезистора и включить их параллельно. Если в кабинете нет терморезисторов, их можно заменить полупроводниковым диодом, который следует включить в обратном направлении. При нагревании диода его сопротивление в обратном направлении резко падает.

Опыт 163. Терморезисторы

Цель опыта. Познакомить учащихся с устройством, свойствами и принципом применения терморезисторов в технике.

Пользуясь настенной таблицей, рассказывают об устройстве терморезистора. Затем с помощью проекционного аппарата (или эпидиаскопа) проецируют терморезистор на экран.

Рассказывают учащимся, что все многообразие применений терморезисторов основано на двух основных режимах работы их в схемах.

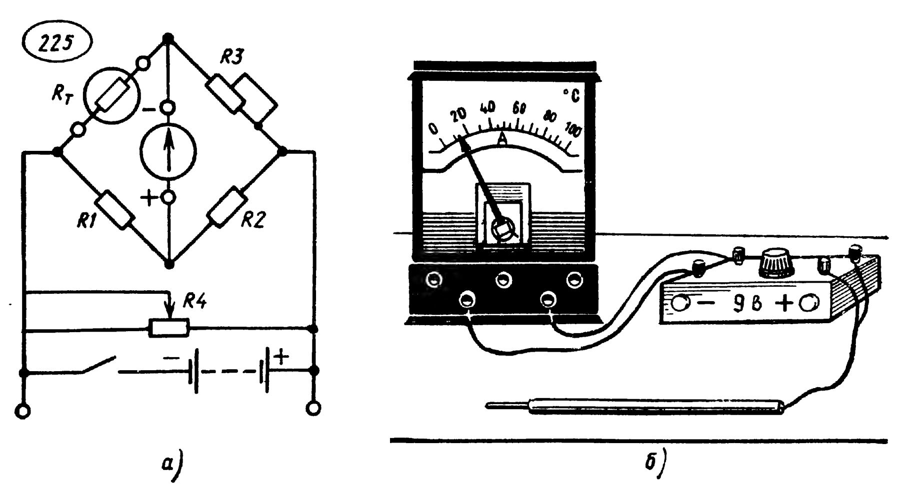
Первый режим характеризуется малым током, проходящим через терморезистор. Сила тока в этом случае настолько мала, что устанавливается тепловое равновесие между выделяемым терморезистором теплом и отдаваемым им окружающей среде и при этом терморезистор не нагревается. В таком режиме работают терморезисторы во всех установках для измерения температуры, индикации лучистой энергии, температурной компенсации и т. д.

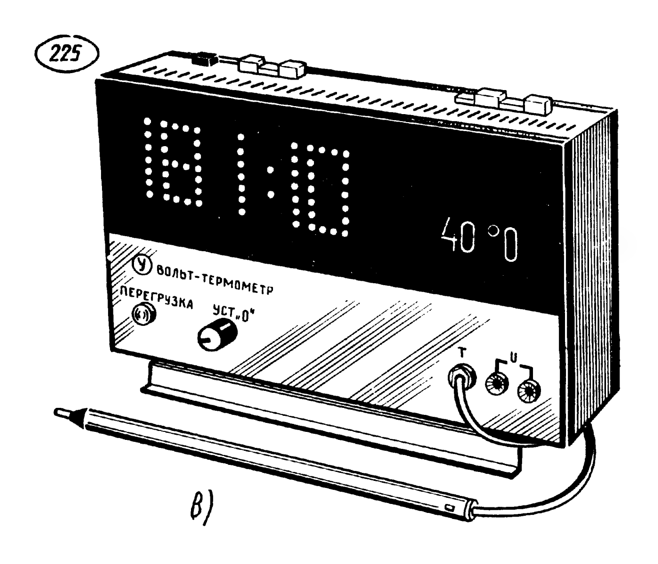
Второй режим характеризуется тем, что терморезистор нагревается проходящим через него током, значение которого в этом случае может быть большим. В таком режиме терморезисторы работают в схемах для измерения вакуума, измерения малых скоростей жидких и газообразных потоков, для тепловой защиты, температурной сигнализации и т. д.

Для ознакомления учащихся с техническими применениями терморезисторов достаточно рассказать о двух режимах работы терморезисторов и проиллюстрировать их двумя примерами.

В качестве таких примеров следует взять электрический термометр и индикатор среды.

Начертив на доске схему демонстрационного термометра (рис. 225, *а*), объясняют его конструкцию (рис. 225, *б*) (конструкция термометра разработана В. А. Буровым). Затем измеря-





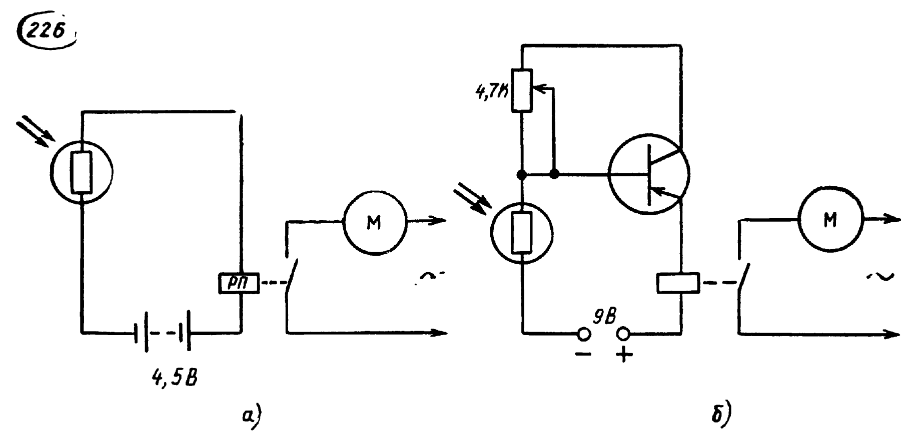
ют с помощью термометра температуру тающего льда и температуру кипящей воды. Учащиеся убеждаются в правильности показаний термометра. Подробные указания об устройстве термометра даны в его заводском описании. На рисунке 225, *в* показан внешний вид нового цифрового термометра.

Опыт 164. Зависимость сопротивления полупроводников от освещения

Цель опыта. Показать одно из наиболее характерных свойств полупроводников, широко используемое в технике. Ознакомить учащихся с устройством и применением фоторезисторов.

Сначала рассказывают о принципе устройства фоторезистора. Затем демонстрируют фоторезисторы с помощью проекционного аппарата или эпидиаскопа. Рассказывают, что для изготовления фоторезисторов применяют наиболее светочувствительные полупроводники, например сернистый свинец, сернистый висмут, сернистый кадмий, сернистый таллий, которые тонким слоем наносят на изолирующую пластину. Края полупроводникового слоя соприкасаются с металлическими электродами, которыми фоторезистор включается в цепь. Пластина с нанесенным на нее слоем полупроводника вставлена в пластмассовую оправу.

Для того чтобы полупроводниковый слой не подвергался вредным воздействиям внешней среды, его покрывают лаком, прозрачным для той части спектра, для которой данный фоторезистор предназначен. Затем включают фоторезистор последовательно с обмоткой поляризованного реле ПР и батареей аккумуляторов (или батарейкой от карманного фонаря). Маломощный универсальный двигатель (мощностью 5—10 Вт) включают в сеть



через нормально открытые контакты поляризованного реле РП-4 (рис. 226, *а*).

Несмотря на то что на двигатель и на реле подано напряжение, двигатель не работает. Включив лампу осветителя, снимают с фоторезистора колпачок и видят, что двигатель пришел во вращение. Закрыв фоторезисторы, наблюдают, что двигатель останавливается.

В заключение можно продемонстрировать отрывок из кинофильма «Фотоэффект», в котором показывается использование фотореле в технике.

Опыт 165. Электронное фотореле

Цель опыта. Познакомить учащихся с принципом работы электронного реле, в котором в качестве датчика использован фоторезистор.

Рассказывают, что примененная в предыдущем опыте схема фотореле непригодна для включения мощных двигателей, так как поляризованное реле, использованное в схеме, имеет очень слабые контакты, рассчитанные на малый ток. При прохождении большого тока эти контакты подгорают и выходят из строя. Применение же поляризованного реле было вызвано тем, что ток, проходящий через фоторезистор, очень мал и другое реле от такого тока не сработает.

В практике обычно ток, проходящий через фоторезистор, усиливают, для чего используют транзистор. Фотореле, в котором используется для усиления слабого фототока транзистор, называется электронным реле.

Собирают цепь с электронным реле (рис. 226, *б*). Электронное реле, использованное в этой цепи, устроено весьма просто. Учащимся надо сказать, что его работа будет объяснена чуть позже. Схему реле легко объяснить учащимся. Кроме того, переключив фоторезистор и заменив конденсатор *C* резистором *R*, можно использовать реле и для работы «на темноту».

Осветив фоторезистор, демонстрируют работу реле «на свет»; двигатель включается при освещении фоторезистора.

Переключив фоторезистор и заменив резистор конденсатором, демонстрируют работу реле «на темноту»: с наступлением темноты реле срабатывает и включает двигатель.

Демонстрация кинофрагмента «Собственная проводимость полупроводников»
(из кинофильма «Полупроводники»)

С помощью мультипликации на примере кремния дается понятие о строении полупроводниковых кристаллов, об электронах связи и механизме образования электронов проводимости. Показано движение свободных электронов под действием электрического поля (электронный ток).

Затем фиксируется внимание на разрушенную связь и показывается образование дырки. Дырка хаотически движется внутри кристалла. Создается электрическое поле, и дырка начинает дрейфовать под действием поля (дырочный ток).

Накладывают оба тока, и дается общая картина механизма тока в полупроводнике.

Повышается температура кристалла. Растет число электронов проводимости и дырок. Увеличивается ток в полупроводнике.

Демонстрация кинофрагмента «Примесная проводимость полупроводников» (из кинофильма «Полупроводники»)

В начале кинофрагмента с помощью мультипликации показывается «присадка» атомов мышьяка к кристаллу кремния и «образование» электронов проводимости. Затем показано, как происходит дрейф электронов проводимости под действием электрического поля (электронный ток).

На мультсхеме демонстрируется образование дырок при «присадке» к кристаллу кремния атомов индия. Следующие кадры рассказывают о движении дырок под действием электрического поля (дырочный ток).

Опыт 166. Электронно-дырочный переход

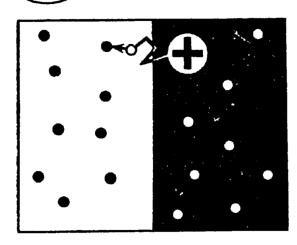
Цель опыта. Объяснить учащимся механизм образования электронно-дырочного перехода.

Перед демонстрацией опыта следует показать учащимся учебный диафильм «Полупроводники и их применение». На рисунке 227 показаны кадры этого диафильма, относящиеся к объяснению механизма образования электронно-дырочного перехода.

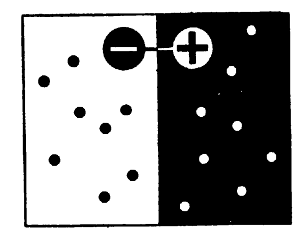
Каждый просмотренный кадр ученикам рекомендуют схематически зарисовать в свою тетрадь с краткими пояснениями.

Для иллюстрации справедливости полученного вывода собирают цепь из последовательно включенного диода на панельке, реостата на 10 кОм, гальванометра (от амперметра), батарейки от

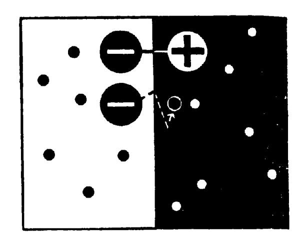
227



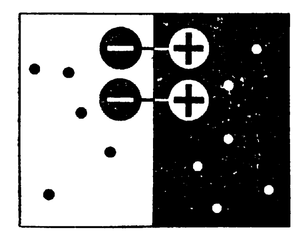
Благодаря тепловому движению, электроны диффундируют в дырочную область, оставляя в электронной области нескомпенсированный положительный ион мышьяка.



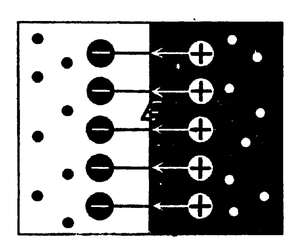
Перейдя в дырочную область, электрон рекомбинирует с дыркой, при этом образуется нескомпенсированный отрицательный ион индия.



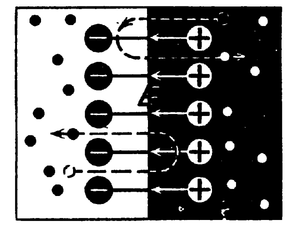
Аналогично дырки диффундируют в электронную область, оставляя в дырочной области нескомпенсированный отрицательный ион индия,



а в электронной области, рекомбинируя с электроном, они образуют нескомпенсированный ион мышьяка.



В результате диффузии электронов и дырок на границе между областями возникает электрическое поле.



Оно препятствует диффузии электронов и дырок между областями кристалла. Возникает электронно - дырочный переход *(p—n)*.

карманного фонаря, подключенной в непропускном направлении. Замкнув цепь, обнаруживают: тока в цепи нет.

Меняют полярность проводов, присоединенных к кристаллу полупроводника. Гальванометр фиксирует наличие тока в цепи. Объясняют, что в этом случае внешнее электрическое поле, приложенное к полупроводниковому кристаллу, ослабляет поле электронно-дырочного перехода. В результате этого усиливается диффузия электронов и дырок через переход.

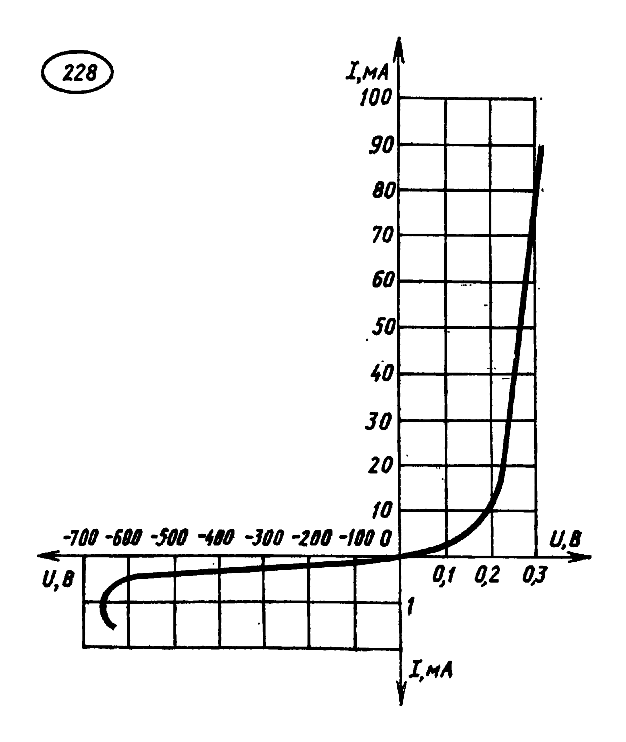
Для закрепления материала демонстрируют фрагмент «Электронно-дырочный переход» из кинофильма «Полупроводники». Содержание этого фрагмента совпадает с содержанием кадров диафильма, но процесс образования электронно-дырочного перехода показан с помощью мультипликации в динамике.

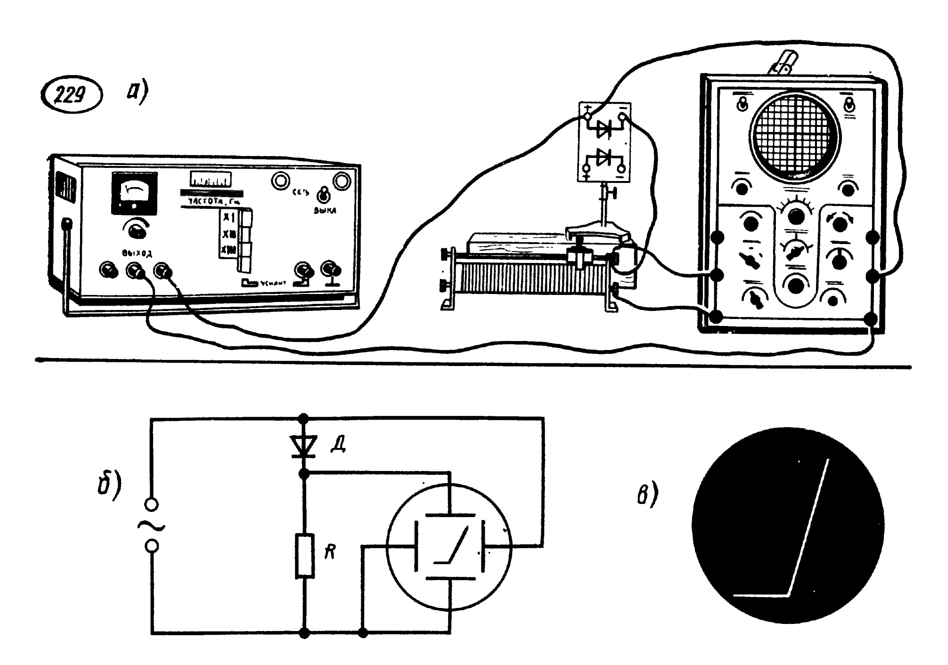
Опыт 167. Вольт-амперная характеристика электронно-дырочного перехода

Цель опыта. Познакомить учащихся с методами снятия вольт-амперной характеристики полупроводникового диода.

1. К панели полупроводникового кристалла с электронно-дырочным переходом подают очень малое (десятые доли вольта) напряжение с потенциометра. Гальванометр фиксирует наличие тока в цепи. Учащимся сообщают, что ток, протекающий через электронно-дырочный переход в проходном направлении, называют прямым током. Увеличивая приложенное к кристаллу напряжение, замечают, что при этом растет и прямой ток. Объясняют, что внешнее напряжение ослабляет электрическое поле электронно-дырочного перехода, а это приводит к увеличению диффузии электронов и дырок через переход, следствием чего и является увеличение тока. Зависимость между прямым напряжением и прямым током почти линейная: об этом можно судить (конечно, грубо) по почти синхронному движению стрелок миллиамперметра и вольтметра.

Меняют полярность напряжения, приложенного к кристаллу. Гальванометр не показывает тока в цепи. Заменяют батарею аккумуляторов универсальным выпрямителем и ставят новый добавочный резистор к вольтметру. Увеличивают приложенное напряжение до 250 В и замечают, что обратный ток через переход остается постоянным. На основании опыта чертят на классной доске вольт-амперную характеристику электронно-дырочного перехода (рис. 228).





2. В классах, где есть учащиеся, интересующиеся физикой, можно показать вольт-амперную характеристику диода на экране осциллографа.

Для этого собирают установку, показанную на рисунке 229, *а*, по схеме (рис. 229, *б*). Использование в качестве источника переменного тока звукового генератора объясняется тем, что при токе промышленной частоты (городская сеть) вольт-амперная характеристика получается нечеткой (раздвоенной). Меняя частоту переменного тока, можно это раздвоение свести до минимума и получить четкую картину на экране осциллографа.

Напряжение снимается с высокоомного выхода звукового генератора. Сопротивление резистора R должно быть несколько килоом. Горизонтальная развертка осциллографа выключается. Развертка луча по горизонтали производится напряжением, снимаемым с выхода звукового генератора. Смещение луча по вертикали производится напряжением, снимаемым с резистора R, которое пропорционально току, протекающему через резистор: $U_R = iR$. В установке можно использовать любой полупроводниковый диод.

Необходимо обратить внимание учащихся на то, что горизонтальный участок осциллограммы соответствует непропускному направлению тока, а наклонный — пропускному (рис. 229, *в*).

Опыт 168. Устройство полупроводникового триода

Цель опыта. Объяснить учащимся устройство полупроводникового триода и на опыте показать наличие в нем двух электронно-дырочных переходов.

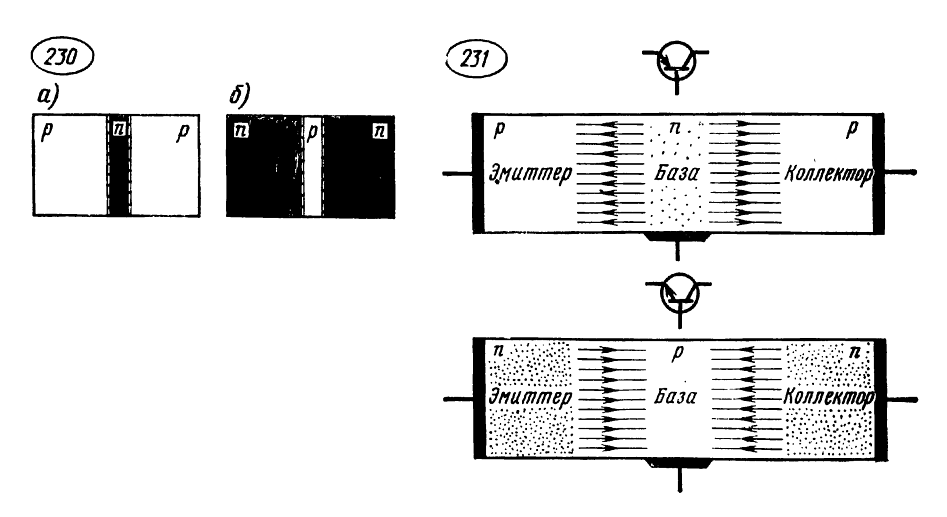
1. Объясняют, что для изготовления триодов применяют монокристаллы кремния или германия, в которые вводятся соответствующие примеси (индий, сурьма или мышьяк). При этом создается прослойка электронного полупроводника между двумя областями дырочного (рис. 230, *а*) или прослойка дырочного полупроводника между двумя областями электронного (рис. 230,*б*). В зависимости от этого различают триоды на основе *n*-полупроводника (тип *p—n—p*) и триоды на основе *p*-полупроводника (тип *n — p — n*).

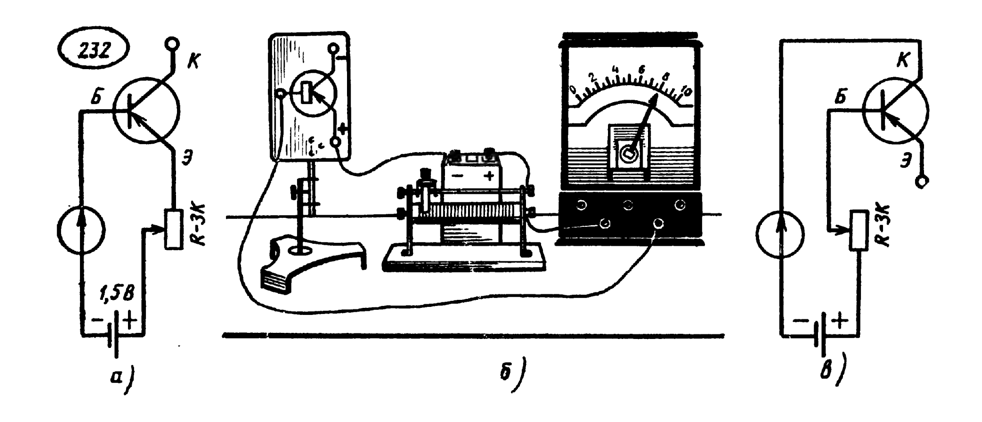
Выбор кремния и германия для изготовления полупроводниковых триодов вызван следующим: подвижность носителей тока в этих кристаллах больше, чем в других полупроводниках; эти кристаллы обладают большей механической прочностью; германий и кремний обладают большой химической устойчивостью; рекомбинация электронов и дырок в этих полупроводниках происходит сравнительно медленно, поэтому разноименно заряженные носители тока проходят сквозь тонкие слои этих кристаллов, практически не рекомбинируя друг с другом.

Далее следует рассказать, что в триоде средняя часть кристалла внизу припаяна к плоскому металлическому электроду, получившему название базы.

Учащимся известно, что при соединении двух областей полупроводников с разной проводимостью вследствие диффузии дырок и электронов и их рекомбинации на границе раздела образуется область, обедненная основными носителями тока, т. е. электронно-дырочный переход.

Наличие трех областей полупроводников в плоскостном триоде приводит к появлению двух переходов, образующихся по обе стороны среднего полупроводника. Таким образом, плоскостной триод представляет собой как бы два диода, соединенные последовательно навстречу друг другу (рис. 231).





В этом месте объяснения следует предостеречь учащихся от ошибки представлять себе транзистор как простую совокупность двух обычных диодов, включенных последовательно. Дело в том, что в триоде диоды имеют общую базу, а это приводит к тому, что ток коллекторного перехода находится в прямой зависимости от силы тока, протекающего через эмиттерный переход. Ничего подобного нет и не может быть у двух последовательно соединенных диодов.

2. Для того чтобы показать наличие эмиттерного электронно-дырочного перехода, собирают цепь, схема которой изображена на рисунке 232, *а*. Общий вид этой установки показан на рисунке 232, *б*.

Вначале положительный полюс источника соединяют с эмиттером, а отрицательный — с базой. Стрелка гальванометра отклоняется на 7—8 делений. Затем полярность проводов у базы и эмиттера изменяют на обратную. Стрелка гальванометра стоит на нуле. Опыт свидетельствует о наличии в цепи эмиттер — база электронно-дырочного перехода.

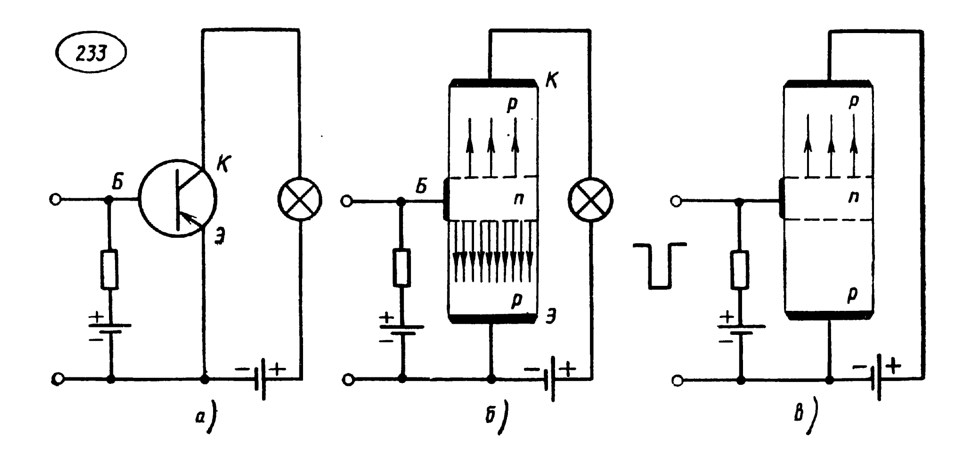
Для обнаружения коллекторного перехода базу транзистора соединяют с отрицательным полюсом, а коллектор — с положительным (рис. 232, *в*). Гальванометр отмечает наличие тока. Изменяя полярность, замечают, что тока в цепи нет.

Опыт дает основание утверждать, что в транзисторе есть два электронно-дырочных перехода.

Опыт 169. Работа транзистора в схеме электронного ключа

Цель опыта. Объяснить и показать на опыте работу транзистора. В схеме электронного ключа, применяемой во многих устройствах автоматики и в электронно-вычислительных машинах, транзистор работает в режиме электронного ключа, включающего и выключающего цепи со скоростями в десятки и сотни тысяч раз в секунду.

На рисунке 233, *а* приведена принципиальная схема, в которой

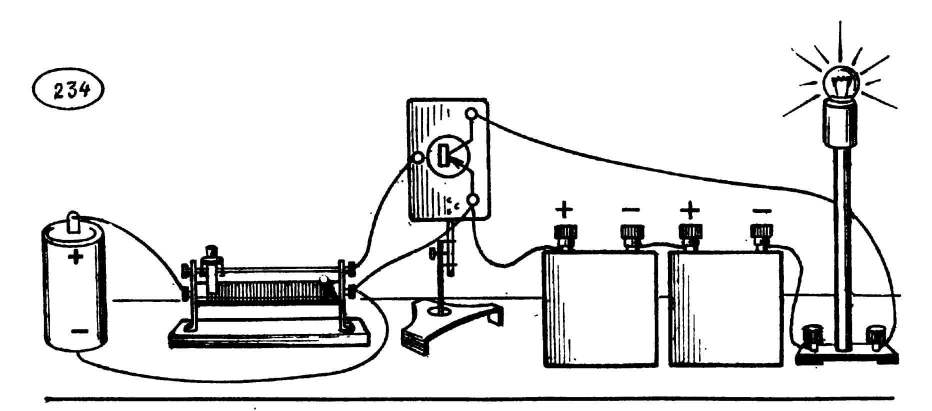


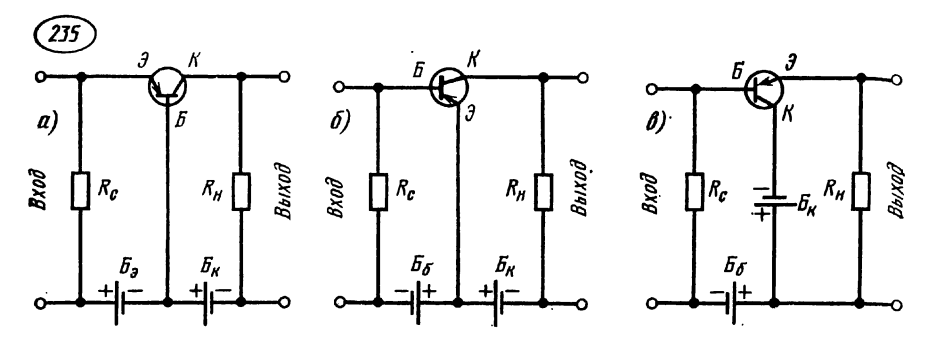
транзистор *р—п—р*-типа используется для включения цепи, условно изображенной лампой.

Как видно из схемы, источник включен в цепь база — эмиттер транзистора через резистор положительным полюсом к базе. Это привело к тому, что напряженность электрического поля и ширина области эмиттерного перехода увеличились. Транзистор заперт: дырки не могут пройти через электрическое поле эмиттерного электронно-дырочного перехода. Тока в цепи эмиттер — коллектор нет (рис. 233, *б*).

Если на участок база — эмиттер подать отрицательный импульс напряжения (рис. 233, *в*), то напряженность электрического поля и ширина области эмиттерного перехода уменьшатся и, пока будет действовать отрицательный импульс напряжения, транзистор будет открыт.

На рисунке 234 показана демонстрационная схема, с помощью которой можно показать принцип работы транзистора в схеме электронного ключа. Присоединяя к переходу база — эмиттер одиночный элемент с ЭДС 1 В, демонстрируют, что лампа, рас-





считанная на напряжение 6,3 В, включенная в цепь коллектора, ярко вспыхивает.

Для убедительности полезно, отключив лампу из собранной для опыта цепи, подключить к ней элемент, импульсом от которого она включалась. Лампа не светит.

Опыт 170. Работа транзистора в схеме усиления

Цель опыта. Объяснить учащимся возможные схемы включения транзистора для усиления переменных сигналов и показать их работу.

1. Существуют три возможных способа включения полупроводниковых триодов для получения эффекта усиления: с общей базой (рис. 235, *а*), с общим эмиттером (рис. 235, *б*), с общим коллектором (рис. 235, *в*). Наиболее простой для объяснения является схема с общим эмиттером.

Для демонстрации эффекта усиления собирают установку по схеме, изображенной на рисунке 236.

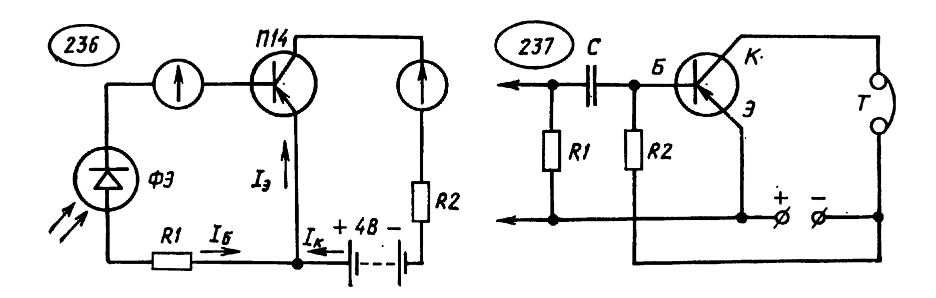
Изменяя освещенность фотоэлемента, убеждаются, что ток базы меняется незначительно, а ток в цепи коллектор — эмиттер очень сильно. Сопротивления R_1 и R_2 зависят от данных используемого фотоэлемента. При удачном выборе фотоэлемента их можно не использовать.

Убрав из цепи гальванометры, включают между коллектором и эмиттером поляризованное реле РП-4 и демонстрируют работу фотореле с предварительным усилением входного сигнала полупроводниковым триодом.

2. Для закрепления и развития знаний учащихся о полупроводниковом триоде необходимо собрать простейший усилитель и показать его работу. Наиболее просто можно объяснить работу усилителя с общим эмиттером (рис. 237).

Объяснив схему усилителя, подключают на его вход демонстрационный детекторный приемник, а на выход телефон. Настроив приемник, отчетливо слышат передачу местной станции.

Отключив усилитель, подключают на выход приемника телефон, но передачу не слышно. Делают вывод, что полупроводниковый усилитель усиливал сигналы, даваемые детекторным приемником.



§ 16. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

При изучении электромагнитной индукции обобщаются и развиваются представления учащихся об электрическом и магнитном полях. Необходимо на хорошо поставленных, выразительных опытах показать их взаимосвязь и взаимопревращение и тем самым создать первые представления о едином переменном электромагнитном поле.

Изучение явления электромагнитной индукции с необходимостью приводит к заключению, что электрическое поле может возбуждаться не только электрическими зарядами, но и изменениями магнитного поля. Получаемое таким образом индуцированное электрическое поле отличается от электростатического и от стационарного электрического поля постоянного тока. Это отличие заключается в следующем:

1) индуцированное поле создается не электрическими зарядами, а изменением магнитного поля;

2) силовые линии электростатического и стационарного поля всегда разомкнуты; они начинаются и заканчиваются на зарядах или проводах. Силовые линии индуцированного поля замкнуты, а само поле имеет вихревой характер;

3) в случае электростатического и стационарного поля можно было указать истоки поля (заряды или пограничный слой между металлом и электролитом, контакт из двух различных металлов); для индуцированного поля этого сделать нельзя: поле создается во всех участках контура.

Эти отличия индуцированного электрического поля от электростатического и стационарного не могут быть непосредственно показаны на опыте, но они вытекают из всей совокупности опытов.

Поэтому в приводимых ниже опытах основное внимание уделено трактовке наблюдаемых явлений.

Опыт 171. Получение индукционного тока при движении постоянного магнита относительно контура

Цель опыта. Создать экспериментальную базу для введения понятия индуцированного электрического поля.

Катушку от универсального трансформатора, рассчитанную на напряжение 220 В, присоединяют к демонстрационному галь-

ванометру. Вводя в катушку постоянный магнит, наблюдают отклонение стрелки гальванометра при движении магнита. Обращают внимание, что при неподвижном относительно катушки магните стрелка гальванометра остается в покое.

Видоизменяют опыт, оставляя магнит неподвижным, перемещают катушку и вновь наблюдают отклонение стрелки гальванометра. В заключение опыта катушку вращают вокруг магнита. Обращают внимание на то, что стрелка гальванометра не отклоняется.

Отклонение стрелки гальванометра свидетельствует о возникновении в катушке электрического тока. Но электрический ток может появиться только при наличии электрического поля. Следовательно, проделанный опыт доказывает, что в катушке возникло электрическое поле.

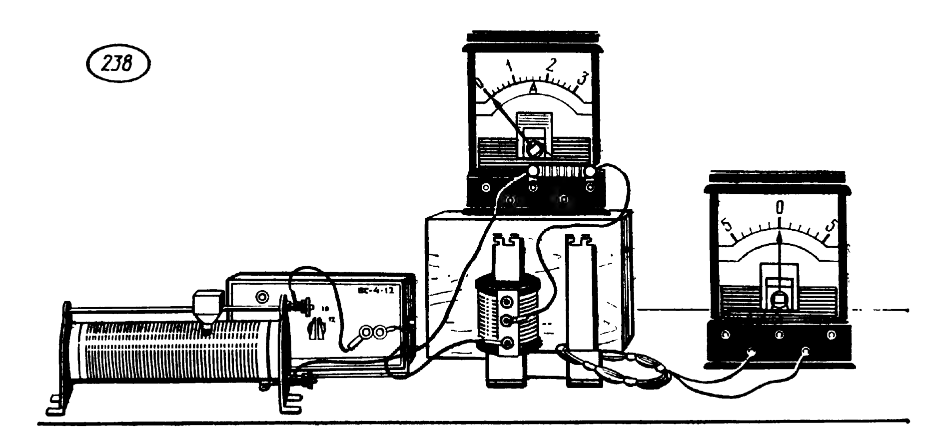
Это поле называется наведенным или индуцированным, а само наблюдаемое явление — электромагнитной индукцией. Так как в проделанных опытах изменялось только магнитное поле, естественно предположить, что причиной возникновения индуцированного электрического поля является изменение магнитного поля.

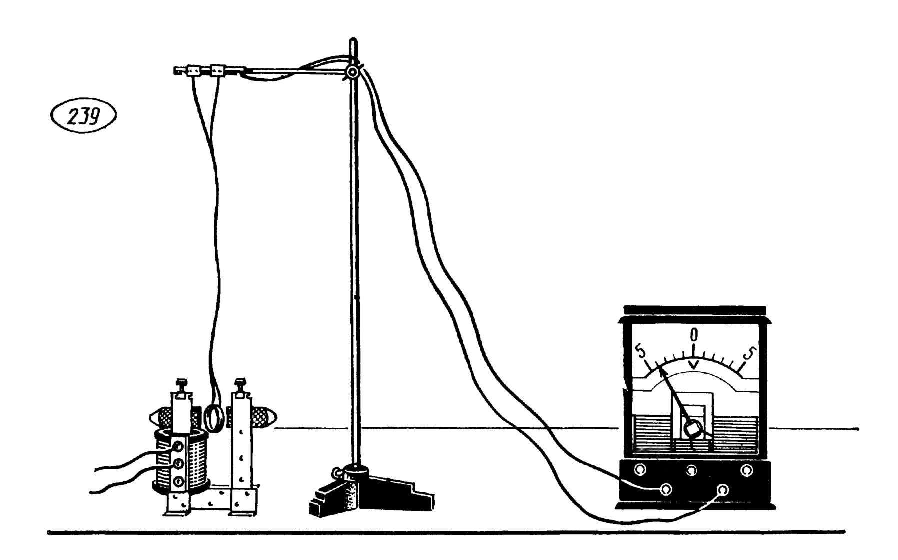
Опыт 172. Получение индукционного тока при изменении магнитной индукции поля, пронизывающего контур

Цель опыта. Показать учащимся, что индуцированное электрическое поле вызывается изменением магнитного поля.

Для проверки сделанного в предыдущем опыте предположения постоянный магнит заменяют электромагнитом, собранным из деталей универсального трансформатора. Электромагнит соединяют с источником постоянного тока через реостат (рис. 238). Меняя силу тока в катушке электромагнита, наблюдают возникновение индукционного тока во второй катушке.

Обращают внимание учащихся на то, что в ходе опыта меняется только магнитная индукция поля и, следовательно, магнитный поток, охватываемый контуром. Таким образом, опыт подтверж-





дает сделанное при обсуждении первого опыта предположение, что индукционное электрическое поле в контуре возникает при изменении магнитного поля.

Оставляя постоянным ток в обмотке электромагнита, замыкают магнитную цепь якорем и наблюдают возникновение индукционного электрического тока в момент замыкания. Аналогичное явление наблюдают при разрыве магнитной цепи и выдвигании сердечника из катушек.

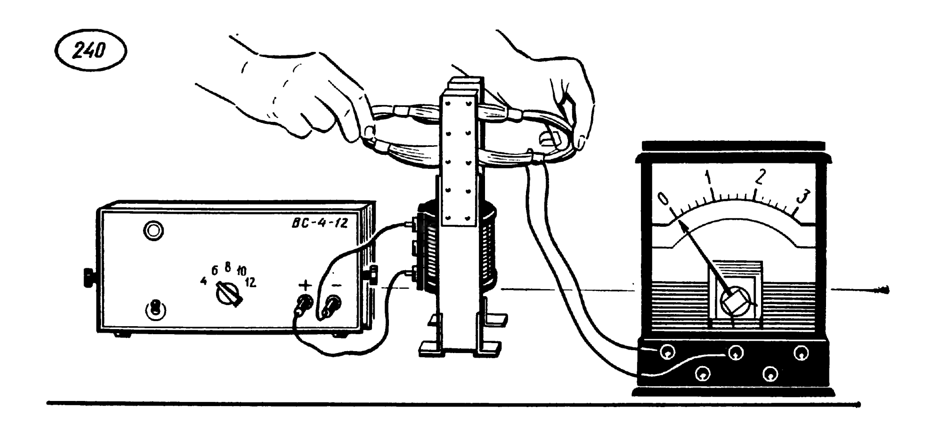
В магнитное поле, созданное электромагнитом, вносят рамку из 20—30 витков эмалированного провода. Концы проводника, образующего рамку, соединяют с клеммами гальванометра (рис. 239). Поворачивая рамку вокруг ее оси симметрии, наблюдают появление индукционного тока.

Опыт 173. Получение индукционного тока при изменении площади контура, находящегося в постоянном магнитном поле

Цель опыта. Та же, что и в опыте 172.

Из деталей универсального трансформатора собирают электромагнит, используя катушку напряжением 120 В с замкнутым сердечником. На свободный стержень магнитопровода навивают 6—8 витков гибкого шнура (рис. 240). Диаметр каждого витка 200—300 мм. Концы шнура присоединяют к гальванометру. Замкнув цепь, демонстрируют возникновение индукционного тока при замыкании цепи электромагнита. Увеличивая силу тока в катушке электромагнита, замечают возникновение незначительного тока в контуре, соединенном с гальванометром.

Быстро дергают за концы шнура так, чтобы диаметр витков сократился до 40—50 мм. Стрелка гальванометра при этом немного отклонится. Если при постановке опыта используют зеркальный гальванометр, отклонение светового зайчика будет значительным.



Обсуждая опыт, приходят к выводу, что и в этом случае возникновение индуцированного электрического поля произошло в результате изменения магнитного поля (изменился магнитный поток, пронизывающий контур, так как изменилась площадь контура).

На основании проведенных опытов делают вывод, что при всяком изменении магнитного поля, пронизывающего проводящий контур, в последнем возникает индуцированное электрическое поле, существующее в течение всего процесса изменения магнитного поля.

Опыт 174. ЭДС индукционного электрического поля

Цель опыта. Создать экспериментальную базу для введения формулы Фарадея.

Для выяснения причин, определяющих ЭДС индукционного поля, собирают установку, изображенную на рисунке 238. Меняя с различной скоростью ток в обмотке электромагнита, убеждаются, что ЭДС прямо пропорциональна быстроте изменения магнитного потока, пронизывающего катушку, в которой индуцируется электрическое поле.

К такому же выводу приходят, перемещая катушку с различной скоростью по отношению к электромагниту. Вывод записывают на классной доске следующим образом:

$$\mathcal{E} \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Заменив катушку гибким проводником, замыкают цепь и наблюдают небольшое отклонение стрелки гальванометра. Затем из провода делают 2, 3 и 4 и т. д. витков и замечают увеличение угла отклонения стрелки в соответствующее число раз. Следовательно, ЭДС прямо пропорциональна числу витков. Результат записывают на доске:

$$\mathcal{E} \sim n.$$

Объединяя результаты наблюдений, получают:

$$\mathcal{E} \sim n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

или, переходя к знаку равенства,

$$\mathcal{E} = kn\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

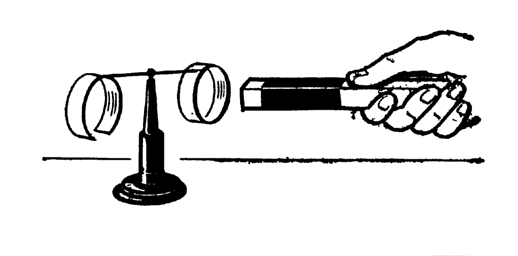
Если все величины, входящие в эту формулу, выражать в какой-либо одной системе, то $k=1$. Поэтому в системе СИ

$$\mathcal{E} = n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Опыт 175. Демонстрация правила Ленца

Цель опыта. Показать, что индукционный ток всегда имеет такое направление, что противодействует причине, его вызвавшей.

1. Поставив на подставку прибор Петроевского, быстро вдвигают в сплошное кольцо (рис. 241) постоянный магнит. Кольцо отталкивается от магнита. Придержав кольцо рукой, вставляют в него магнит. Быстро вынимают магнит и замечают притяжение кольца к магниту.

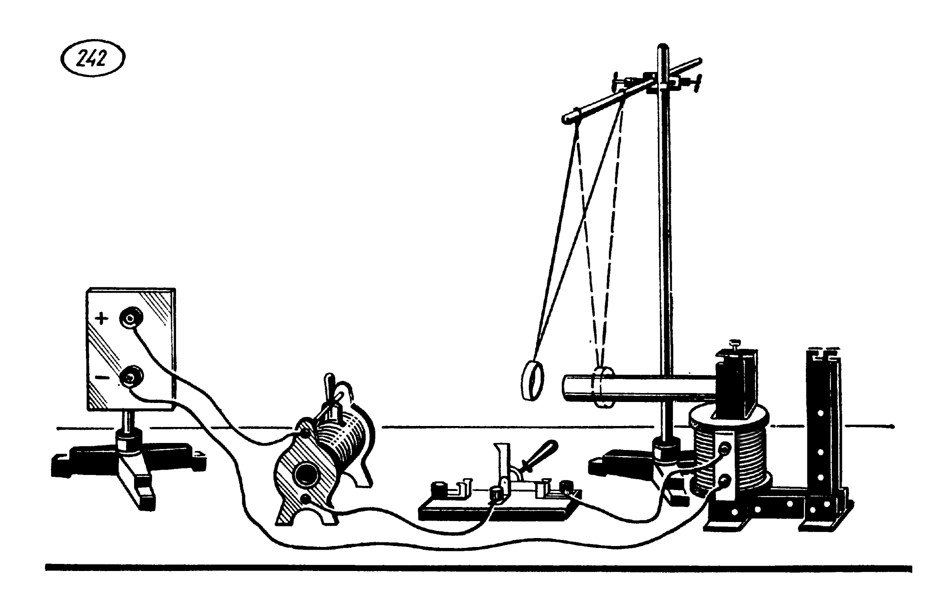


Повторяют опыт с разрезанным кольцом и убеждаются, что кольцо не реагирует на движение магнита.

2. В катушку от универсального трансформатора, рассчитанную на напряжение 220 В, вставляют стальной сердечник длиной 25—30 см, диаметром 30—35 мм. Сердечник имеет упор, не позволяющий ему втягиваться внутрь катушки при создании тока.

На сердечник надевают легкое алюминиевое кольцо диаметром 5—8 см, подвешенное на бифилярном подвесе длиной 100—150 см так, что при своих колебаниях оно не задевает стальной сердечник (рис. 242). Катушку через реостат подключают к источнику постоянного тока напряжением 20—30 В.

При замыкании цепи и увеличении в ней силы тока наблюдают движение кольца от катушки, а при уменьшении силы тока и размыкании цепи — к катушке.



Опыт 176. Самоиндукция при замыкании цепи

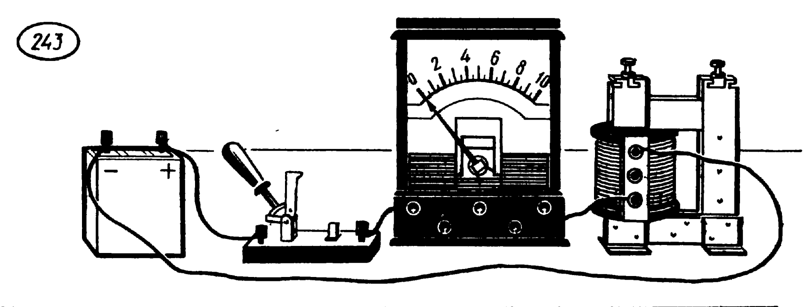
Цель опыта. Показать явление самоиндукции.

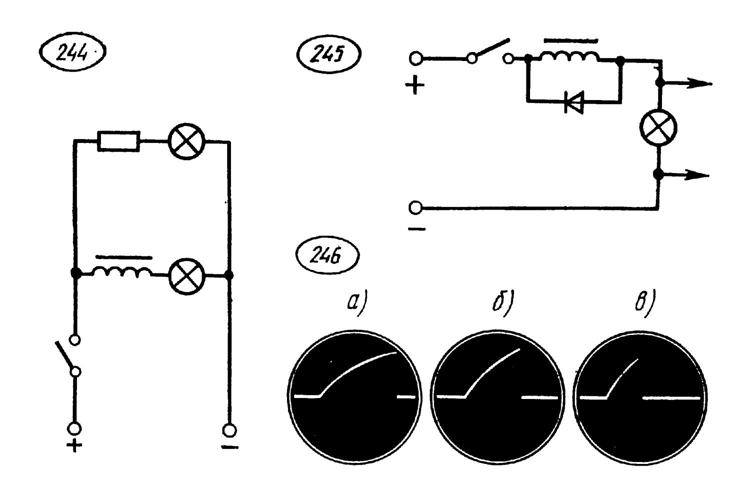
1. Собирают установку, показанную на рисунке 243. В качестве индуктивности используют катушки с очень большой индуктивностью (например, дроссельная катушка с 3600 витками).

Замкнув цепь, наблюдают, как медленно растет ток в цепи. Проходит почти полминуты, пока прекратится движение стрелки по шкале.

Объясняют, что причина наблюдаемого явления заключается в изменении магнитного поля вокруг проводников, в результате чего в них возникает индуцированное электрическое поле, препятствующее электрическому полю источника. Поэтому ток в цепи устанавливается не мгновенно.

Демонстрация опыта производит очень сильное впечатление на учащихся, так как до этого все электрические явления происходили почти мгновенно и в их сознании связывались с чем-то быстротечным.





Опыт подводит учащихся к чрезвычайно важному выводу: процесс самоиндукции проявляется как своеобразная инертность тока и магнитного поля.

2. Собирают цепь, схема которой показана на рисунке 244. В качестве индуктивности используют катушку от универсального трансформатора, рассчитанную на напряжение 220 В.

Замыкая цепь, наблюдают, что лампа, включенная последовательно с катушкой, загорается несколько позже лампы, включенной последовательно с реостатом. Обращают внимание учащихся на факт одинакового свечения ламп в установившемся режиме, что свидетельствует о равенстве сопротивлений катушек и реостата.

Объясняют, что причиной наблюдаемого явления служит изменение магнитного поля вокруг проводников, в результате чего в них возникает индуцированное электрическое поле, препятствующее возрастанию тока.

Так как ЭДС при прочих равных условиях зависит от числа витков, то в катушке, имеющей большее число витков, чем в реостате, возникает бóльшая ЭДС, которая и препятствует нарастанию тока в этой ветви.

Сообщают, что наблюдаемое явление называется самоиндукцией, а ЭДС индуцированного таким образом поля — ЭДС самоиндукции.

Опыт 177. Осциллограмма нарастания тока в цепи с катушкой индуктивности

Цель опыта. Показать характер нарастания тока при замыкании цепи с катушкой индуктивности.

Собирают цепь по схеме (рис. 245). Полупроводниковый диод исключает попадание на вход осциллографа ЭДС самоиндукции при размыкании. Параллельно лампе подключают вход электрон-

ного осциллографа. Установив частоту развертки 7—30 Гц, цепь замыкают и размыкают при помощи ключа. На экране осциллографа при этом наблюдают неустойчивые осциллограммы нарастания тока (рис. 246, *а*).

Чтобы получить устойчивые осциллограммы, заменяют рубильник поляризованным реле РП-4 (рис. 247). Подобрав частоту развертки осциллографа равной частоте колебаний якоря реле, наблюдают устойчивую осциллограмму нарастания тока в цепи с индуктивностью. Сняв якорь с магнитопровода трансформатора, замечают, что нарастание тока в цепи происходит быстрее (см. рис. 246, *б, в*).

Опыт 178. Самоиндукция при размыкании цепи

Цель опыта. Показать учащимся явление самоиндукции при размыкании цепи.

1. Собирают цепь по схеме, изображенной на рисунке 248. Эта цепь отличается от цепи, которую собирали в опыте 177, только тем, что здесь использован двойной самодельный ключ, позволяющий отключать источник от цепи без ее размыкания. Это достигается тем, что промежуток между неподвижными контактами несколько у́же ширины подвижного контакта. Поэтому при передвижении подвижного контакта из положения *1* в положение *2* цепь не размыкается, а источник отключается от цепи.

Замкнув цепь, наблюдают медленный рост тока в цепи. После того как ток достигнет максимального значения, передвигают подвижный контакт в положение *2* и наблюдают медленное убывание тока в цепи: при очень большой индуктивности стрелка идет до нулевого деления почти полминуты.

Обращают внимание учащихся на то, что индуцированное электрическое поле самоиндукции противодействует причине, его вызвавшей, — убыванию основного поля (поля источника).

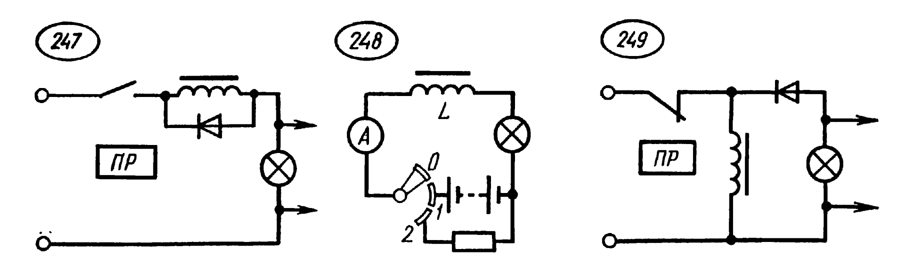
2. Катушку от универсального трансформатора, надетую на магнитопровод, подключают параллельно с неоновой лампой к источнику тока напряжением 5—6 В. Порог зажигания лампы должен быть около 100—120 В. При размыкании цепи наблюдают яркую вспышку лампы.

В случае применения неоновой лампы с тарельчатыми (дисковыми) электродами ее необходимо включить так, чтобы ток самоиндукции вызывал свечение газа около электрода, обращенного к классу.

Опыт 179. Осциллограмма изменения тока при размыкании цепи

Цель опыта. Показать характер изменения силы тока при размыкании цепи.

Для наблюдения осциллограммы ЭДС самоиндукции при размыкании цепи собирают цепь по схеме (рис. 249). В качестве автоматического ключа можно использовать поляризованное реле РП-4. Подобрав частоту развертки осциллографа, наблюдают



устойчивую осциллограмму ЭДС самоиндукции при размыкании цепи.

Опыт 180. Явление самоиндукции при изменении тока в цепи

Цель опыта. Доказать экспериментально, что при любом изменении силы тока в цепи возникает индукционное электрическое поле.

Для демонстрации явления самоиндукции при увеличении и уменьшении тока в цепи собирают мостовую схему (рис. 250), в которой использована катушка от универсального трансформатора.

Замыкают цепь, уравновешивают мостик. Размыкая цепь, наблюдают отклонение стрелки гальванометра, допустим, вправо, тогда при замыкании цепи стрелка отклонится влево. Объясняют, что при замыкании и размыкании цепи вследствие появления индукционного электрического поля равновесие мостика нарушается и в результате этого стрелка гальванометра отклоняется.

Меняют силу тока в цепи и наблюдают отклонение стрелки гальванометра при увеличении тока влево, а при уменьшении — вправо.

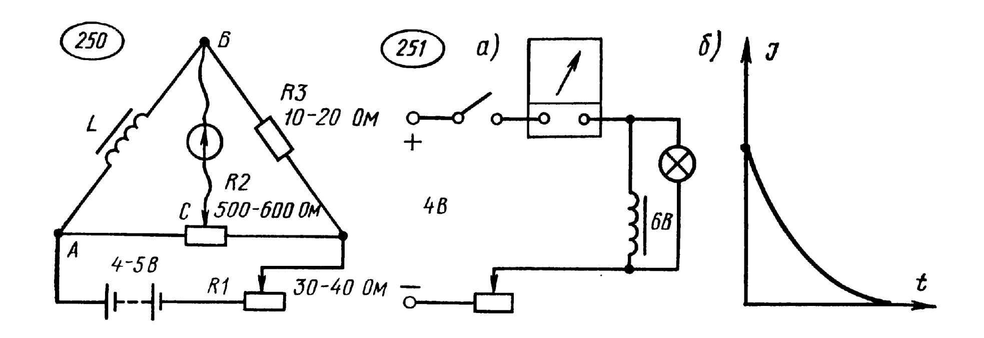
На основании проведенных опытов делают вывод, что при любых изменениях тока в цепи в ней возникает индукционное электрическое поле, препятствующее этим изменениям тока.

Опыт 181. ЭДС самоиндукции

Цель опыта. Показать, что ЭДС самоиндукции зависит от скорости изменения силы тока в цепи и от свойств проводника. Опыт распадается на следующие демонстрации:

1. Для демонстрации зависимости ЭДС самоиндукции от скорости изменения силы тока в цепи собирают мостиковую цепь (см. рис. 250). Медленно изменяя силу тока в цепи, наблюдают незначительное отклонение стрелки гальванометра. Изменяя силу тока в цепи быстрее, наблюдают большое отклонение стрелки гальванометра. Наконец, размыкают цепь и наблюдают сильный бросок стрелки гальванометра. На основании опыта делают вывод, что ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока в цепи:

$$\mathcal{E}_c \sim \frac{\Delta I}{\Delta t};$$



2. Чтобы показать зависимость ЭДС самоиндукции от свойств проводника, заменяют катушку длинным гибким проводником, сложенным в виде петли на столе. Создав ток, уравновешивают плечи моста.

Разомкнув цепь, наблюдают незначительное отклонение стрелки гальванометра. Навивают гибкий проводник на каркас и вновь включают в то же плечо моста. Размыкая цепь, наблюдают большое отклонение стрелки гальванометра. Опуская катушки в парамагнитную жидкость, замечают еще большее отклонение стрелки гальванометра при замыкании и размыкании цепи.

Делают вывод, что ЭДС самоиндукции зависит от свойств проводника и окружающей проводник среды, записывают это так:

$$\mathcal{E}_c \sim L.$$

Объединяя результаты обоих опытов, получают:

$$\mathcal{E}_c \sim L\frac{\Delta I}{\Delta t}:$$

Переходя к знаку равенства, записывают:

$$\mathcal{E}_c = kL\frac{\Delta I}{\Delta t};$$

Коэффициент пропорциональности зависит от выбора единиц. При измерении величин $\mathcal{E}_c$, L, I и t в СИ k равен единице, поэтому

$$\mathcal{E}_c = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Появление знака «—» объясняется тем, что индуцированное электрическое поле противодействует изменению тока в цепи (закон Ленца).

После того как установлены причины, определяющие ЭДС самоиндукции, переходят к выяснению физического смысла индуктивности L, характеризующей свойства проводника и окружающей проводник среды.

Опыт 182. Энергия магнитного поля катушки

Цель опыта. Показать, что магнитное поле катушки обладает энергией, и выяснить, от каких величин зависит энергия магнитного поля катушки.

Катушку универсального трансформатора, рассчитанную на напряжение 6 В, и лампочку от карманного фонаря подключают параллельно к батарее аккумуляторов. Для регулирования тока в цепь включен реостат, а для измерения тока — демонстрационный амперметр (рис. 251).

С помощью реостата устанавливают такую силу тока, при которой лампочка еще не светится. Размыкая цепь, наблюдают, что лампочка ярко вспыхивает (объясняют это явлением самоиндукции). Опыт свидетельствует о том, что магнитное поле обладает энергией.

Вынув сердечник из катушки, повторяют опыт и наблюдают менее яркую вспышку лампочки. Делают вывод, что энергия магнитного поля зависит от индуктивности проводника:

$$W \sim L.$$

Оставляя индуктивность проводника максимальной, уменьшают силу тока, проходящего через катушку. Размыкая цепь, наблюдают, что с уменьшением силы тока уменьшается и яркость вспышек. Следовательно, энергия магнитного поля зависит от силы тока, проходящего через катушку:

$$W \sim I.$$

Для выяснения характера изменения силы тока, проходящего через лампочку, параллельно ей подключают вход электронного осциллографа, заменив ключ электрическим звонком или поляризованным реле (см. рис. 249). Подобрав частоту развертки осциллографа равной частоте замыканий цепи, наблюдают осциллограмму тока при размыкании цепи с катушкой индуктивности.

Анализ осциллограммы дает возможность вывести формулу энергии магнитного поля катушки, которая подсчитывается через работу тока:

$$W_{\text{м}} = A = I_{\text{ср}} \mathcal{E}_{\text{c}} \Delta t.$$

Но ЭДС самоиндукции может быть найдена на основании формулы

$$\mathcal{E}_{\text{c}} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Так как при размыкании цепи сила тока изменяется от 1 до 0 (рис. 251, *б*), то $\Delta I = 1$.

Следовательно,

$$W_{\text{м}} = I_{\text{ср}} L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Delta t.$$

За среднее значение тока можно взять $\frac{I}{2}$. Тогда

$$W_м = \frac{LI^2}{2}.$$

Несмотря на некоторую некорректность допущения, что $I_{ср} = \frac{I}{2}$, полученная формула является точной.

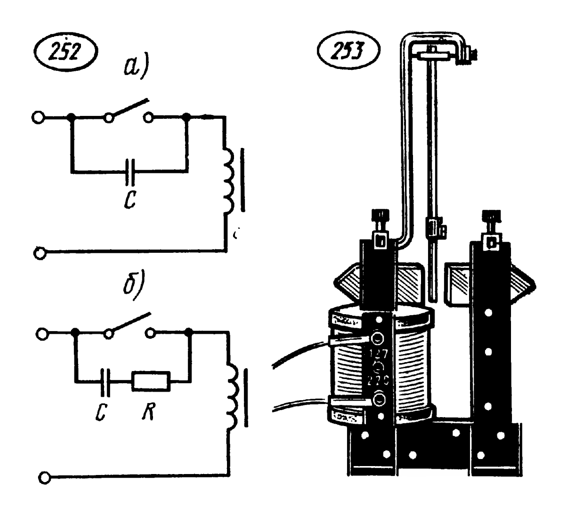
Опыт 183. Дугогасящие устройства

Цель опыта. Познакомить учащихся с одним из методов предохранения цепей от токов самоиндукции, возникающих при размыкании цепи.

При размыкании цепи с большой индуктивностью в ней индуцируются сильные электрические поля, вызывающие в месте разрыва электрическую дугу. Электрическая дуга выводит из строя контакты размыкающего устройства и поэтому нежелательна.

Для предохранения контактов от разрушения применяют различные дугогасящие устройства. Наиболее простым способом гашения дуги является подключение параллельно контактам конденсатора емкостью 0,1—2 мкФ (рис. 252, *а*). В этом случае при размыкании цепи токи самоиндукции заряжают конденсатор, в результате чего интенсивность дуги уменьшается.

Однако это устройство обладает следующим недостатком: при замыкании цепи конденсатор заряжается до напряжения источника и поэтому в момент размыкания, разряжаясь через контакты, постепенно выводит их из строя. Для устранения этого недостатка последовательно с конденсатором включают резистор R = 50—100 Ом (рис. 252, *б*).



Для демонстрации работы искрящего устройства собирают цепь с большой индуктивностью. Контакты специально изготовленного для этого опыта рубильника с помощью проекционного аппарата проецируются на экран. После этого замыкают цепь и через 10—15 с медленно размыкают. При этом наблюдают большую дугу и заметное разрушение поверхности контакта.

Повернув нож рубильника в противоположную сторону, подключают параллельно контакту батарею конденсаторов и повторяют опыт. Наблюдают на экране менее сильную искру и неразрушенную поверхность контакта.

Для того чтобы у учащихся не оставалось сомнений в одинаковых качествах первого и второго контактов, повторяют опыт с отключенной батареей конденсаторов и вновь наблюдают оплавление контактов.

Опыт требует тщательного подбора перед уроком емкости, силы тока и индуктивности. Для ориентировки укажем данные одного из успешно проделанных опытов. В опыте использовались катушки от универсального трансформатора, рассчитанные на напряжение 120 и 220 В и соединяющиеся параллельно; $I = 4—5$ А; $C = 1{,}0$ мкФ; толщина алюминиевого ножа 0,1 мм; сопротивление $R = 60$ Ом.

В последнее время в качестве дугогасящих устройств стали использовать нелинейные резисторы, сопротивления которых уменьшаются с увеличением приложенного напряжения. Такими свойствами обладает неоновая лампочка, резисторы из тирита, вилита, карборунда и некоторых других материалов.

Для демонстрации принципа устройства таких дугогасящих устройств в предыдущей установке параллельно контактам подключают неоновую лампочку, порог зажигания которой выше напряжения сети и меньше 270—300 В (порог образования дуги). В момент размыкания цепи лампочка ярко вспыхивает, а контакты не оплавляются.

Опыт 184. Индукционные токи в массивных проводниках

Цель опыта. Показать, что в массивных проводниках, находящихся в изменяющемся магнитном поле, возникают индукционные токи.

Из деталей универсального трансформатора собирают электромагнит с полюсными наконечниками. С помощью стойки в воздушном зазоре электромагнита укрепляют сплошной алюминиевый маятник (рис. 253).

Отводят маятник на угол 90° и дают возможность свободно колебаться. Считают число полных колебаний маятника до остановки. Подключают электромагнит к аккумуляторной батарее и вновь дают возможность маятнику колебаться. Считают число колебаний маятника и замечают, что маятник остановился значительно быстрее.

Торможение маятника во втором случае объясняют возникновением в нем индукционных токов, которые (в полном согласии

с законом Ленца) препятствуют причине, их вызывающей, — колебаниям маятника.

Заменяют сплошной маятник маятником с вырезами и вновь повторяют опыт. Тормозящее действие индукционных токов во втором случае значительно меньше. Следовательно, в несплошных телах индукционные токи слабее.

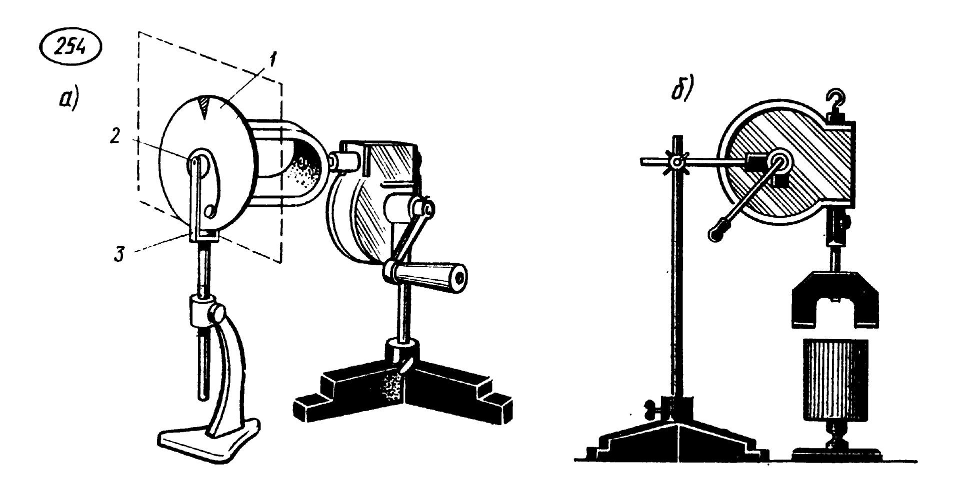
Опыт 185. Принцип работы магнитного тахометра и спидометра

Цель опыта. Познакомить учащихся с принципом работы магнитных тахометров, которые находят в последнее время все более широкое применение в технике. Ознакомление учащихся с принципом их устройства не только расширяет политехнический кругозор, но и закрепляет ранее изученный материал об индукции в сплошных телах и законе Ленца.

Для демонстрации принципа работы магнитного тахометра собирают установку, изображенную на рисунке 254, *а*. Вращая магнит, наблюдают вращение алюминиевого диска. Объясняют учащимся, что на этом принципе работает магнитный счетчик оборотов.

Закрепив на обойме диска спиральную пружину (на обойме для этого есть специальный зажим), повторяют опыт. Обращают внимание учащихся на то, что в этом случае поворот диска зависит от скорости его вращения. На этом принципе основано устройство индукционных тахометров (приборов для измерения частоты вращения, угловой скорости) и спидометров.

Если в школе нет описанного в предыдущем опыте диска, опыт можно поставить с подручными средствами. Для этого берут внутренний алюминиевый стакан от школьного калориметра (или любой другой алюминиевый стакан, например крышку от старого термоса) и изнутри стакана по центру дна тупым гвоздем делают небольшое углубление. Надевают стакан на подставку от демон-



страционной магнитной стрелки и собирают установку, изображенную на рисунке 254, *б*. Вращая магнит, наблюдают вращение стакана.

Для лучшей видимости вращения стакана на него надо наклеить (или нарисовать на нем) вертикальную полоску цветной бумаги.

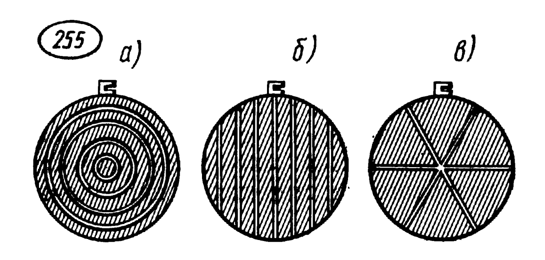
Опыт 186. Вихревой характер индукционного электрического поля

Цель опыта. Показать существенное отличие индукционного электрического поля от поля электростатического и стационарного поля постоянного тока и его вихревой характер.

Из деталей универсального трансформатора собирают электромагнит, для чего обмотки катушек, рассчитанных на напряжения 120 и 220 В, соединяют параллельно и включают в сеть переменного тока напряжением 120 В. Электромагнит снабжен полюсными наконечниками. В пространство между полюсными наконечниками вносят сплошной медный диск, покрытый воском. Включают цепь и наблюдают плавление воска на диске. Опыт, по существу, знаком учащимся и ставится как вводный для постановки вопроса о структуре индукционного электрического поля в проводнике.

После того как учащиеся объяснят проделанный опыт, перед классом ставят вопрос о том, что надо сделать, чтобы в диске не возникали индукционные токи. Учащиеся обычно отвечают, что необходимо диск разрезать. В межполюсное пространство электромагнита вносят диск, разрезанный на ряд концентрических колец (рис. 255, *а*; кольца укреплены на асбошифере), включают цепь и замечают плавление воска, которым покрыты кольца. После этого в межполюсное пространство электромагнита вносят диск, разрезанный, как показано на рисунке 255, *б*, и, создав ток, не наблюдают быстрого нагревания полосок диска. Повторяют опыт с диском, разрезанным на секторы (рис. 255, *в*).

Опыты дают основание для вывода о вихревом характере индукционного электрического поля.



§ 17. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

Основная цель предлагаемых опытов — экспериментально показать, что все вещества в той или иной мере обладают магнитными свойствами. Это позволит учителю впервые высказать учащимся мысль о том, что немагнитных веществ в природе не существует, и ввести понятие о сильномагнитных и слабомагнитных веществах. Поскольку опыты в определенной степени повторяют опыты Фарадея, то следует рассказать, что при проведении этих опытов Фарадей впервые употребил термин «магнитное поле» и ввел термины «пара- диа- и ферромагнетизм». Подобные детали не только интересны, но, что значительно важнее, конкретизируют возникновение физических понятий во времени и тем самым знакомят учащихся с историей физики.

При объяснении опытов акцент следует делать на явлениях (ферромагнетизм, парамагнетизм, диамагнетизм), а не на классификации веществ (ферромагнетики, диамагнетики, парамагнетики). Целесообразность этого вытекает из того, что в природе не существует веществ, у которых эти свойства существовали бы в чистом виде. Практически в слабомагнитных веществах почти всегда сосуществуют диамагнетизм и парамагнетизм, а в сильномагнитных веществах — ферромагнетизм, диамагнетизм и антиферромагнетизм.

Опыт 187. Ферромагнетизм

Цель опыта. Показать, что ряд веществ (сталь, никель, кобальт), будучи внесены в магнитное поле, намагничиваются и располагаются вдоль линий магнитной индукции.

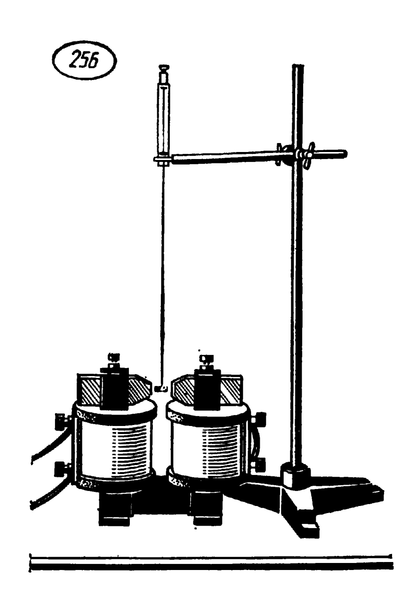
Если в школе нет мощного демонстрационного электромагнита, можно собрать достаточно хороший электромагнит из деталей универсального трансформатора. Для этого катушки трансформатора, рассчитанные на включение в сеть напряжением 120 и 220 В, надевают на магнитопровод и соединяют параллельно. На разомкнутые концы магнитопровода устанавливают и прочно закрепляют полюсные наконечники; расстояние между наконечниками должно быть около 25 мм. В пространстве между полюсными наконечниками последовательно помещают подвешенные на капроновой нити-паутинке стержни из стали, никеля и кобальта (рис. 256). Для успеха демонстрации существенно, чтобы магнитное поле не было очень сильным.

В начале опыта стержни располагают точно между полюсами и с помощью головки подвеса устанавливают перпендикулярно к линиям магнитной индукции и проецируют на экран.

Замкнув цепь, демонстрируют ориентацию ферромагнитного стержня вдоль силовых линий магнитной индукции. Выключив ток, наблюдают возвращение стержня в первоначальное положение.

Опыт 188. Парамагнетизм

Цель опыта. Показать явление парамагнетизма.



Собирают установку (см. рис. 256). В пространстве между полюсными наконечниками электромагнита помещают подвешенный на длинной и тонкой нити алюминиевый цилиндр (опыт нагляднее идет, если вместо алюминиевого цилиндра использовать кусок вольфрамовой спирали от лампы накаливания большой мощности). С помощью головки подвеса цилиндр располагают перпендикулярно к полюсным наконечникам. Установку проецируют на экран.

Замкнув цепь, замечают, что цилиндр поворачивается и устанавливается вдоль линий магнитной индукции.

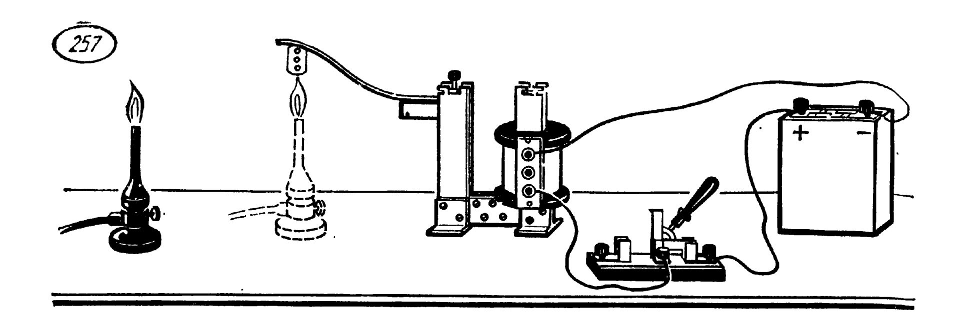
Для успеха опыта существенное значение имеют толщина и длина нити, на которой подвешивают цилиндр: чем тоньше и длиннее нить, тем меньше ее противодействующий момент. Очень удобны тонкие капроновые нити. Для того чтобы избежать закручивания нити во время опыта, цилиндр надо подвесить заранее: нить вытянется и раскрутится.

Опыт 189. Диамагнетизм

Цель опыта. Показать учащимся явление диамагнетизма.

Висмутовый стержень диаметром 3 мм и длиной 15 мм, подвешенный на тонкой капроновой нити, помещают точно между полюсами электромагнита. В начале опыта с помощью подвижной головки стержень располагают вдоль линий магнитной индукции и проецируют на экран.

Создав ток, наблюдают поворот стержня в магнитном поле. Опыт хорошо удается при силе тока в катушках 6—8 А. Такой ток катушки могут выдержать только несколько секунд. Поэтому включать катушку надо через плавкий предохранитель, который сгорает через 2—3 с после включения.



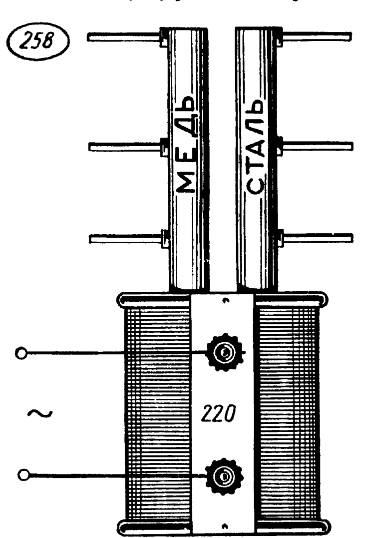
Опыт 190. Зависимость ферромагнитных свойств от температуры

Стальную пластинку длиной 20—25 см зажимают под полюсные наконечники так, как показано на рисунке 257. Включают ток и, поднося лезвие от безопасной бритвы к пластинке, наблюдают его притяжение.

Подставив под лезвие зажженую газовую горелку или спиртовку, наблюдают, что при нагревании лезвие падает на стол. Опыт свидетельствует о потере лезвием ферромагнитных свойств.

Опыт 191. Нагревание ферромагнетика при перемагничивании

Нагревание ферромагнетика при циклическом перемагничивании демонстрируют следующим образом. Два одинаковых по размерам стержня, стальной и медный, устанавливают на деревянной дощечке, которую затем ставят в катушку от универсального трансформатора (рис. 258). С помощью воска на стержнях на одинаковой высоте укрепляют 2—3 спички.



Включив через реостат переменный ток, наблюдают, что через некоторое время спички на стальном стержне падают, а на медном стержне остаются в неизменном положении.

Учащиеся обычно пытаются объяснить наблюдаемое явление токами Фуко. Однако элементарные подсчеты, которые можно будет провести после изучения явления электромагнитной индукции, показывают, что токами Фуко нагревается сильнее медный стержень. Эти расчеты могут быть предметом домашнего задания.

Раздел IV
САМОДЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Для постановки демонстрационных опытов на уроках физики нет единого согласованного комплекта необходимого оборудования, поэтому в описанных опытах в ряде случаев использованы либо самодельные приборы, либо слегка модернизированные приборы из числа выпускаемых для школ. Ниже приведены краткие, но достаточные для изготовления в школьных мастерских описания таких приборов.

§ 18. САМОДЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ ПО МЕХАНИКЕ

1. **Рельсовая дорога.** Во многих опытах по кинематике и динамике используются легкоподвижные тележки. Для движения тележек нужно направляющее движение — полотно (рельсовая дорога).

Устройство дороги приведено на рисунке 259. Длина дороги 1500 мм, расстояние между внутренними кромками уголков (25×25 мм) примерно 80 мм, устанавливается по шаблону. Рабочую поверхность уголков (после сборки дороги) обрабатывают по шаблону мелким напильником и наждачной бумагой. Рабочая поверхность не должна иметь заусениц.

Для большей жесткости конструкции крепежные опоры *1* снизу привернуты к гладкой сухой доске *2*. Конструкция снабжена уравнительными винтами *3*. Если есть возможность, вместо двух уголков лучше взять алюминиевый П-образный профиль.

Стойки *4* нужны для установки наклонного экрана *5*. На рисунке 259, *а* экран показан лежащим около дороги.

Для пуска тележки к дороге изготовлены две наклонные плоскости с углами наклона 15° и 30° (рис. 259, *в*).

На стойках *6* при необходимости укладывается индукционный датчик скорости — однослойная катушка, намотанная из медного провода диаметром 0,5—1,0 мм на железную трубу диаметром 15—20 мм. Концы обмотки для удобства подключения заделаны под клеммы, установленные на изолирующих заглушках трубы. Чтобы случайно обмотка не замкнулась на корпус трубы, последняя обмотана изоляционной лентой (можно покрасить нитрокраской).

2. **Легкоподвижные тележки.** Для постановки ряда опытов по кинематике необходима одна, а для опытов по динамике — две

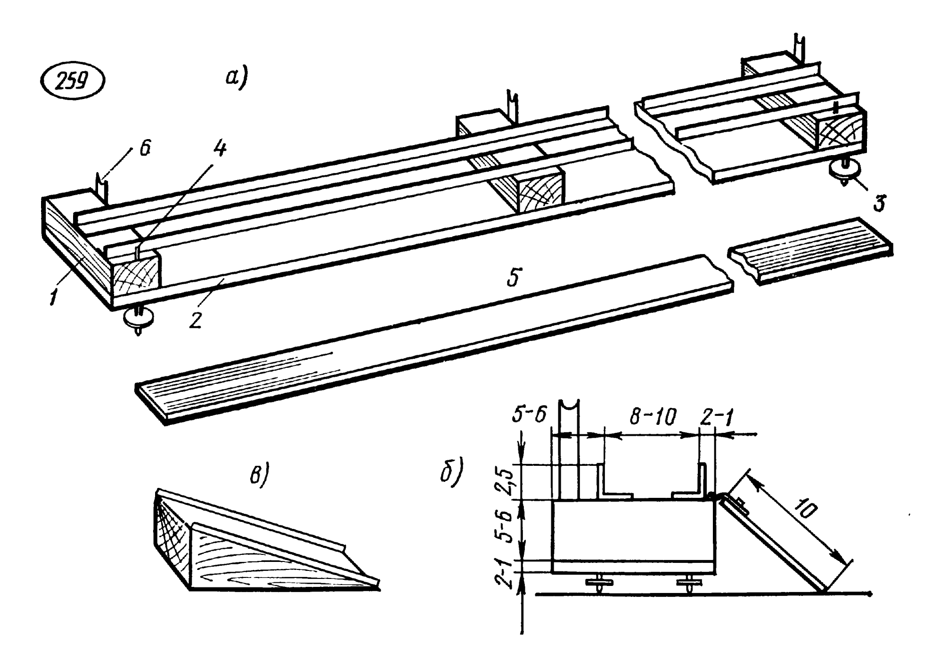
легкоподвижные тележки одинаковой массы. Конструктивно тележки могут быть выполнены различно. Описанный ниже вариант изготовления тележки прост и достаточно надежен в работе.

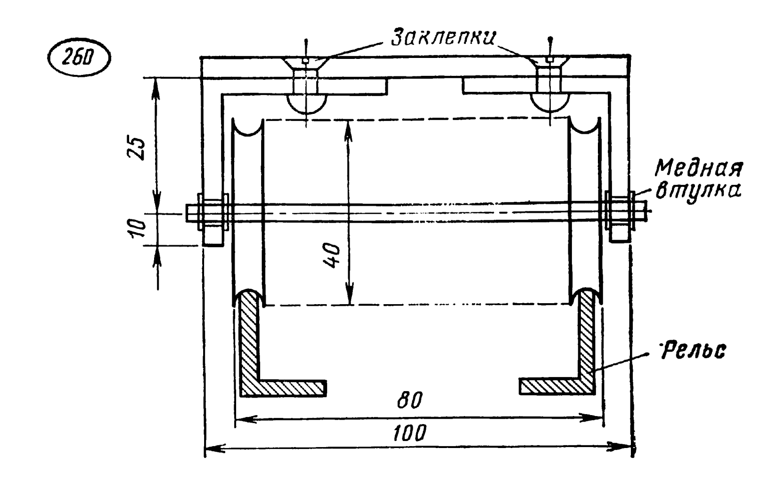
Платформа тележки (рис. 260) размером 100×150 мм вырезана из толстой дюралюминиевой пластины, к которой снизу приклепаны два уголка шириной полки 35 мм. На платформе просверлены шесть отверстий для установки приборов и приспособлений.

Колеса небольшого диаметра (от 30 до 40 мм) должны иметь реборды (боковые выступы) или плоскую канавку, предохраняющие сход колес с рельсовой дорожки. Оси колес стальные (можно взять из металлоконструктора). На оси надеты медные шайбочки для уменьшения трения. Для этой же цели в алюминиевые уголки вставлены медные втулки. Расстояние между канавками колес (или ребордами) на 1—2 мм больше ширины колеи.

3. **Воздушные движители** (рис. 261) изготовлены на базе микродвигателей «Малютка». На оси двигателей с помощью клея насажены трехлопастные винты от игрушки «Полет», выпускаемой Московским опытным заводом «Физприбор». Движители на тележку устанавливаются на общее основание, под которым располагаются две батарейки от карманного фонаря. Около двигателей поставлены два выключателя, позволяющие включать каждый двигатель отдельно.

4. **Капельница** (рис. 262) может быть изготовлена из пластмассовой баночки от цветной фотопленки (можно взять аналогичную баночку от лекарства), у дна которой просверлено отверстие



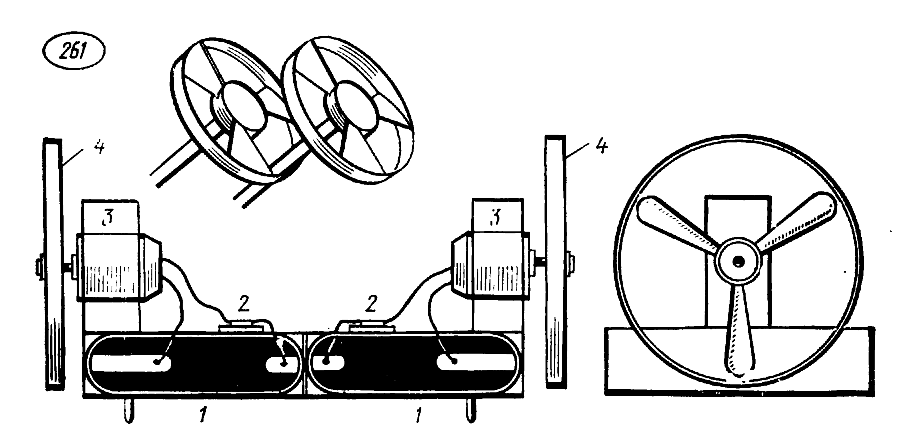


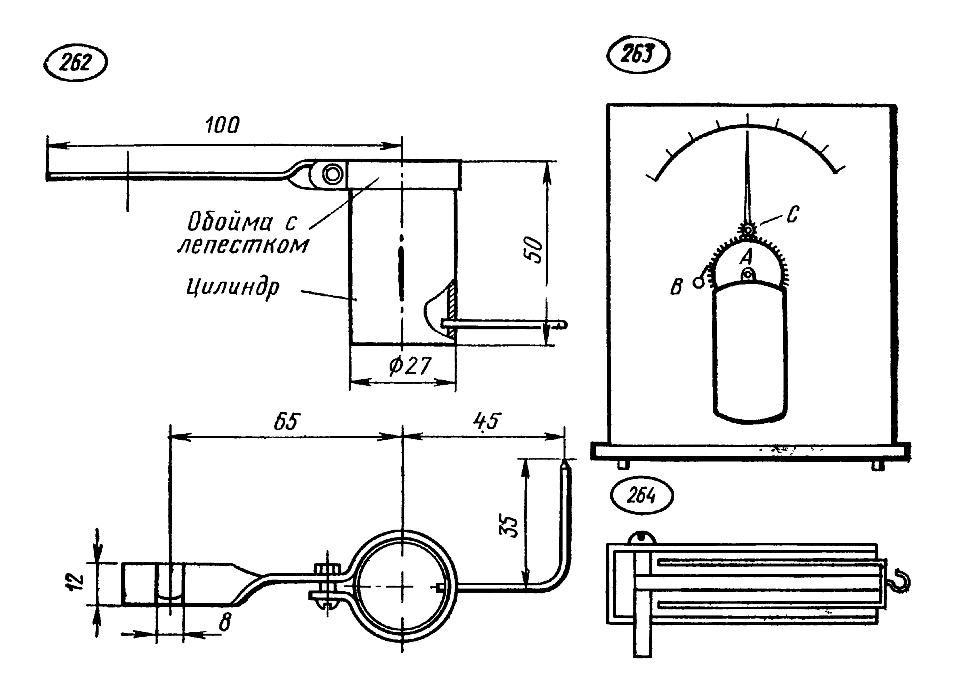
диаметром чуть меньше диаметра пластмассового стержня от шариковой ручки. В это отверстие вставлена трубка от исписанного стержня шариковой ручки, изогнутая под углом 90°. Шарик от стержня надо откусить кусачками. Так как в процессе откусывания медная трубка деформируется, ей надо (с помощью иглы) придать прежнюю форму.

Можно таким же образом изготовить капельницу непосредственно из большого баллончика шариковой ручки.

Частота образования капель зависит от наклона трубки, по которой поступает жидкость к наконечнику. Поэтому, поворачивая стержень капельницы, можно менять частоту образования капель от 0,1 до 1 с.

5. **Акселерометр** демонстрационный (рис. 263) представляет собой сочетание маятника (датчика ускорения) и стрелки указателя. Маятник и стрелка соединены шестеренками с передаточным числом 60 : 11, взятыми из старого будильника.





Шестеренка *А* вставлена нижней своей половиной в пропил в свинцовой пластине и запрессована в нем ударом молотка. Образовавшийся маятник надет на ось, укрепленную на вертикальной панели прибора. Пружинящая пластина *В,* не мешая повороту шестерни А по ходу часовой стрелки, не дает ей возможности поворачиваться в обратную сторону.

Малая шестеренка *С,* сопряженная с шестерней *А,* неподвижно соединена со стрелкой-указателем.

При ускоренном движении акселерометра вправо маятник, образованный шестеренкой *А* и грузом, отклоняется влево на угол, пропорциональный ускорению, и поворачивает стрелку указателя на угол, в 10 раз больший. Таким образом, показания стрелки также пропорциональны ускорению движения акселерометра.

6. **Динамометр** (рис. 264) — обычный трубчатый динамометр, рассчитанный на измерение силы до 4 Н. Динамометр имеет только три деления: 1 Н, 2 Н и 3 Н. Жесткость упругого элемента подбирается в процессе отладки опытов. Хорошие результаты получаются при использовании резиновой тесьмы. В левом конце внешней трубки динамометра сделано сквозное отверстие для укрепления динамометра к тележке, к этому же винту крепится упругий элемент (резинка или пружина).

7. **Модернизация прибора по механике,** предназначенного для постановки работ в практикуме.

а) На штангу прибора, сняв струну, надо намотать примерно 800 витков многожильного гибкого провода сечением 1—1,4 мм^2 в поливинилхлоридной изоляции (ПГВ). Сопротивление такой об-

мотки примерно 2 Ом. Сопротивление гальванометра от демонстрационного вольтметра 2,3 Ом. Таким образом, сопротивление катушки, намотанной на штангу прибора, согласовано с сопротивлением гальванометра от демонстрационного вольтметра.

Намотав обмотку электромагнита, струну прибора устанавливают на ее место.

Если теперь поставить на струну двухколесную тележку, нагруженную кольцевыми керамическими магнитами, то при движении тележки в намотанной на штангу обмотке возникает индукционное электрическое поле, ЭДС которого будет пропорциональна скорости движения тележки.

Если обмотку присоединить к зеркальному гальванометру, последовательно к которому подключить конденсатор с электроемкостью около 2000 мкФ, показания гальванометра будут пропорциональны ускорению тележки.

Таким образом, модернизация прибора позволит измерять скорость и ускорение тележки электрическим способом.

§ 19. САМОДЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ К ТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ»

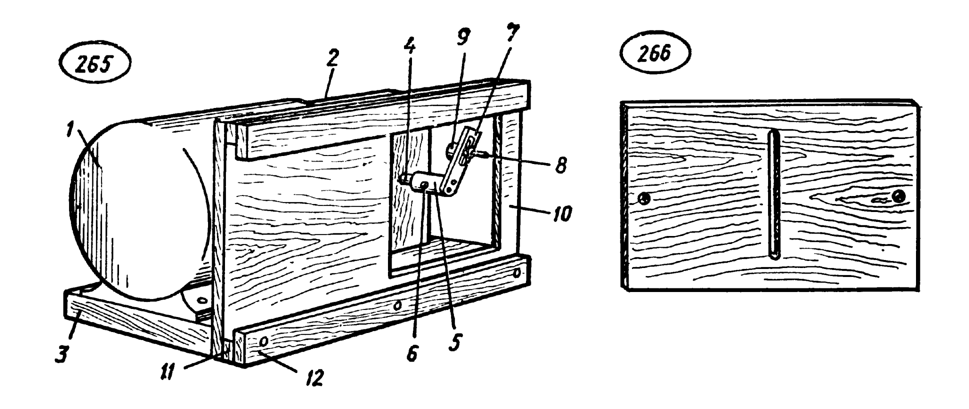
На протяжении ряда лет группа преподавателей (учитель физики школы № 710 Москвы Л. В. Кудрявцев, преподаватель Каршинского пединститута С. Якубов, преподаватель Чебоксарского университета Н. И. Павлов и заведующий детской технической станцией г. Чимкента Н. И. Триллер) занималась разработкой методики преподавания раздела «Колебания и волны». В ходе этой работы был создан один из возможных вариантов методики преподавания и комплект учебного оборудования по этому разделу. Комплект состоит из учебного оборудования, выпускаемого промышленностью, и небольшого числа новых приборов, одобренных Министерством просвещения СССР для внедрения в производство. В комплект также входит большое число мелких принадлежностей, которые должны быть изготовлены в школе. Часть этих приборов описана ниже.

Вибратор демонстрационный. Для постановки многих опытов необходим такой прибор, в котором одна из его деталей совершала бы синусоидальные колебания, частоту и амплитуду которых можно было бы изменять. В технике такие приборы называются синусными механизмами. В основе синусных механизмов, как правило, лежит механизм, превращающий вращательное движение в колебательное, совершающееся по закону

$$x = X_{max} \sin \omega t,$$

где x — смещение, X_{max} — максимальное смещение, ω — угловая скорость вращения вала двигателя (или редуктора).

Синусные механизмы, используемые в технике, непригодны для использования в школьном физическом эксперименте, так как не удовлетворяют его специфическим требованиям.



Анализ демонстрационных опытов, проведенный Н. И. Павловым, показал, что синусный механизм (который мы для простоты назовем вибратором), необходимый для постановки демонстрационных опытов, должен обладать следующими основными свойствами:

1. Устройство вибратора должно быть предельно простым, наглядным и понятным для учащихся.

2. Конструкция вибратора должна позволять просто и надежно его сочленять с другими приборами комплекта.

3. Частота колебаний вибратора должна плавно регулироваться в пределах от 0,2 до 10 Гц.

4. Амплитуда колебаний должна плавно регулироваться в пределах от 20 до 100 мм.

Такими свойствами и обладает вибратор, описанный ниже (рис. 265).

Вибратор собран на базе двигателя *1* с червячным редуктором *2* (можно, например, использовать двигатель от автомобильного стеклоочистителя).

Основание прибора сделано из нескольких листов толстой фанеры, которые склеены казеиновым клеем. Высота основания берется такой, чтобы вал *4* редуктора оказался поднятым над поверхностью стола примерно на 100 мм.

На вал редуктора надевается стальная муфта *5*, конец которой должен на 1 мм выходить за основание двигателя. Муфта закрепляется на валу винтом *6*.

К муфте двумя винтами крепится кривошип *7* с прорезью для установки пальца *8* (последний крепится с помощью гайки *9*).

Расстояние от оси пальца до оси вала редуктора определяет амплитуду колебаний. Палец кривошипа должен выступать за кромку основания на 10—12 мм.

Кривошип испытывает значительные усилия, и его надо изготовить из стальной пластины толщиной 1,5—2 мм.

К основанию прибора крепится направляющая стойка *10*, изготовленная из толстой фанеры. Высота стойки 200 мм, а его дли-

на равна длине основания. В стойке вырезано квадратное отверстие со стороной 65 мм. Точка пересечения диагоналей этого отверстия совпадает с осью вала редуктора. Внутри образовавшейся полости вращается кривошип с пальцем.

Пластины *11* и *12*, крепящиеся к раме, образуют направляющие пазы, по которым ходит шток. Последний представляет собой пластину с вертикальным пазом (рис. 266).

Длина штока больше длины направляющей стойки на 100 мм. Ширина штока на 1 мм меньше расстояния между пластинами *11*.

Вибратор собирают из изготовленных деталей в такой последовательности:

1. Двигатель с редуктором крепят к основанию.
2. На вал редуктора надевают муфту.
3. К муфте крепят кривошип.
4. В прорези кривошипа устанавливают палец.
5. Включают двигатель на пониженное напряжение и проверяют, не задевает ли кривошип за основание прибора.
6. К стойке крепят пластины, образующие верхний паз направляющего устройства.
7. К стойке крепят пластины, образующие верхний паз направляющего устройства (но винты не затягивают).
8. В направляющее устройство вставляют шток.
9. Направляющее устройство крепят к основанию двигателя. При этом палец кривошипа должен войти в паз штока. Если все детали изготовлены правильно, то вибратор работает устойчиво и бесшумно.

Двигатель с постоянным числом оборотов. Такой двигатель используется в некоторых опытах по кинематике прямолинейного равномерного движения и во многих опытах по разделу «Колебания и волны». Наиболее подходящим оказался асинхронный конденсаторный двигатель с редуктором (например, типа Д-83). Такие двигатели применяются в лентопротяжных механизмах магнитофонов.

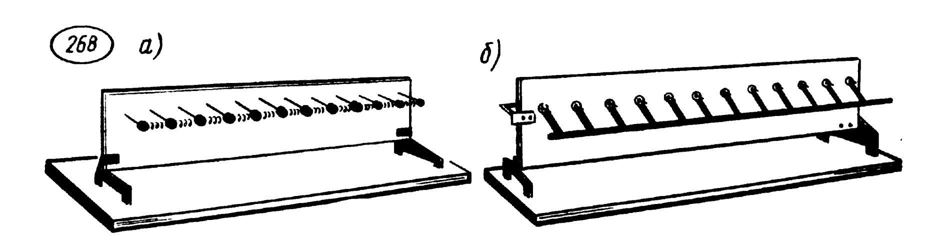
Для удобства использования двигателя в демонстрационных опытах его целесообразно поместить в кожух, из которого должен выступать хвостовик вала. На кожухе следует установить кнопку для включения и остановки двигателя. В кожухе помещают и конденсатор. Основание кожуха следует для устойчивости утяжелить.

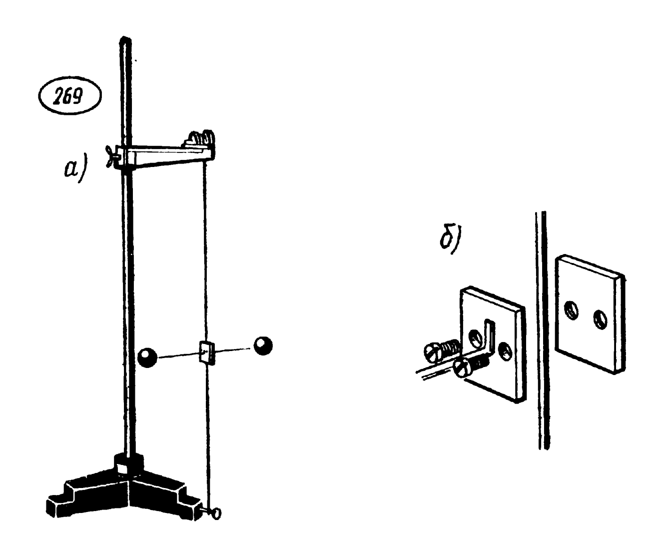
Маятник для записи осциллограммы. Маятник для записи колебаний можно изготовить из консервной банки. В дне банки необходимо сделать отверстие, через которое мог бы пройти стержень от шариковой ручки. Конец стержня откусывается кусачками и после зачистки тонким напильником протыкается иглой. Сам стержень вставляется в отверстие в дне пластмассового цилиндра из-под цветной фотопленки или лекарства (объем цилиндра примерно 10 мл). Цилиндр устанавливается в банку и засыпается песком.

Пружинный маятник с принадлежностями. Как видно из рисун-

ка 267, *а*, этот прибор представляет собой ведерко, подвешиваемое на горизонтальных пружинах (двух, четырех или шести). В ведерко можно помещать чугунные диски массой по 200 г каждый. В двух дисках сделаны гладкие отверстия диаметром 15 мм, а в третьем — отверстие диаметром 12 мм с резьбой, в которую можно ввернуть трубку для чернил либо демпфер. Для возбуждения вынужденных колебаний в комплект входит стойка с шатуном. Детали, из которых собирается прибор, показаны на рисунке 267, *б* (*1* — ведерко; *2* — пружины; *3* — сосуд для чернил; *4* — динамический демпфер, *5* — стойка с шатуном; *6* — грузы).

Волновая машина (разработана Н. И. Триллером) служит для демонстрации распространения колебаний в упругой среде. На массивном основании укреплены 12 пружинных маятников с большим (порядка 1—2 с) периодом колебаний (рис. 268). Маятники соединены между собой пружинами или тонкими резинками. Последний маятник имеет фетровый тормоз. Степень торможений





регулируется винтом. Первый маятник имеет приспособление для присоединения к вибратору. Плоские пружины маятников расположены вертикально (в этом положении можно показать распространение продольных волн). Для демонстрации распространения поперечных волн маятники с помощью специального устройства поворачивают на 90° (рис. 268, *б*). В этом случае и сам прибор надо повернуть на 90°.

Крутильный маятник собирается на демонстрационном штативе (рис. 269, *а*). Он представляет собой горизонтальное коромысло с двумя грузами на концах, закрепленное посредине вертикальной натянутой стальной струны. Сверху струна закрепляется в колке от музыкального инструмента (он крепится к кольцу или лапке штатива). Нижний конец струны крепится к основанию штатива. Для этого в лапке основания штатива сверлят отверстие диаметром 3—4 мм, в которое вставляют стержень с головкой (можно взять винт от клеммы).

Коромысло маятника состоит из двух кусков стальной проволоки диаметром 2 мм и длиной по 200 мм каждая, припаянных к железным пластинам размером 20×2 мм (рис. 269, *б*). В каждой из пластин просверлены отверстия: в одной — диаметром 3 мм и в нем нарезана резьба, а в другой — диаметром 3,2 мм без резьбы. Посредине пластин сделаны неглубокие пропилы для струны маятника, которая прочно зажимается между пластинами с помощью двух винтов.

На концы коромысла маятника надеваются шарики от демонстрационных электрометров.

Тела для демонстрационных маятников. Обычно для демонстрационных маятников используют шарики небольших размеров, подвешиваемые на коротких нитях к лапкам штативов. Такие маятники плохо смотрятся, и опыты с ними плохо запоминаются.

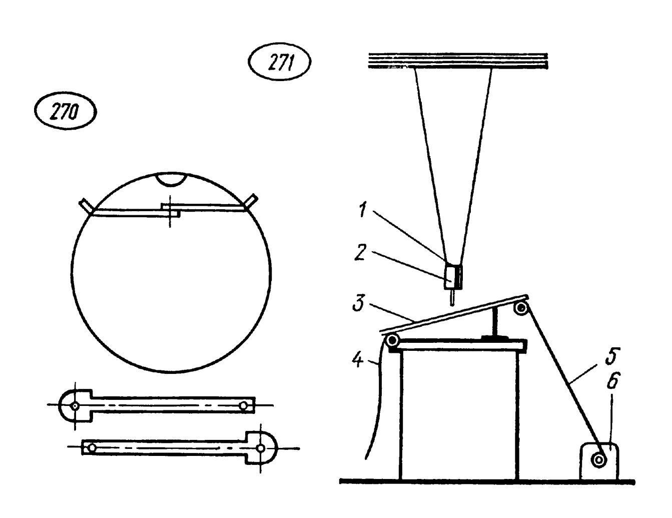
Опыты становятся более выразительными, если взять массивные шары больших размеров и подвесить к потолочной балке. Такие массивные шары можно весьма просто изготовить из детских полых пластмассовых шаров, которые продаются в магазинах игрушек. Их наполняют песком, опилками, свинцовой дробью. К каждому шару надо приделать две петли для бифилярного подвеса.

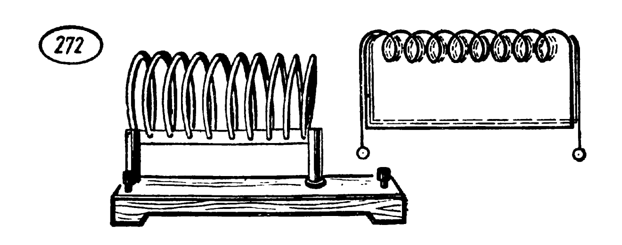
Для изготовления петель вырезают из латуни или луженого железа (например, от консервной банки) пластинки, примерная форма которых приведена на рисунке 270. Ширина пластинок 5—8 мм, длина примерно 60 мм. В шарах по хорде большого круга острым ножом делаются прорези по ширине изготовленных пластинок. Пластинки вставляются «навстречу» друг другу и их свободные концы спаиваются. После этого выступающие части отгибаются по направлению радиусов.

Шары имеют одинаковый объем, но различную массу. Их можно различать по цвету.

Подвесы для маятников. Опыты с маятниками можно поставить быстрее, если изготовить из тонкой стальной проволоки специальные подвесы с крючками на концах (лучше всего применить рыболовные крючки, спилив у них острые края). Подвесы из стальной проволоки удобны тем, что подвешенный на ней маятник не крутится. Кроме того, такие подвесы удобно хранить свернутыми в кольца большого диаметра. Место соединения крючка с проволокой следует пропаять: в этом случае крючок и проволока монолитны и подвешенный шар не будет совершать никаких дополнительных движений.

Желательно иметь следующий набор подвесов: четыре подвеса, длина которых на 20 см меньше расстояния от потолка до поверхности демонстрационного стола; два подвеса, вдвое более





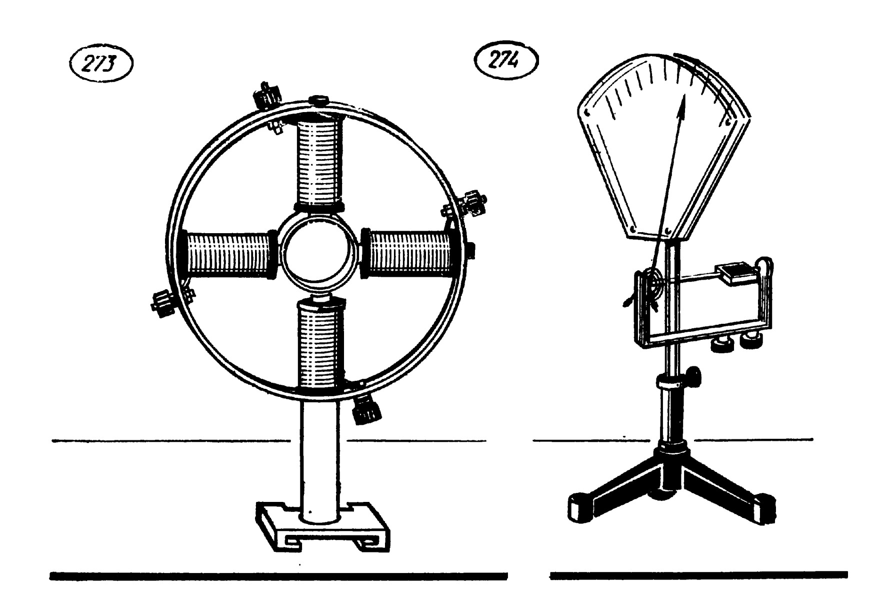
коротких, и два подвеса, имеющих в 3 раза меньшую длину, чем первые четыре. Для хранения подвесов очень удобен детский пластмассовый обруч, в котором надо сделать отверстия для крючков. Обруч вешается на гвоздь.

Лентопротяжный механизм предназначен для равномерного движения бумажной ленты в опытах, связанных с записью осциллограммы колебаний. Механизм состоит из направляющих салазок и электрического двигателя с постоянным числом оборотов (рис. 271). На вал двигателя надевается приемный барабан для намотки на него тонкой лески, которая прикрепляется к листу бумаги, вставленному в направляющие салазки.

Направляющие салазки состоят из гладкой доски шириной 350 мм и длиной 800 мм, к краям которой шурупами привернуты два алюминиевых уголка так, что между верхней поверхностью доски и уголком остается промежуток 1 мм. Длина уголков 860 мм. На выступающих из-за доски концах уголков установлены легко вращающиеся валики, облегчающие движение бумаги по направляющим салазкам. Для установки на демонстрационном столе направляющие салазки имеют с тыльной стороны откидывающийся упор из толстой фанеры. Угол наклона направляющих салазок примерно 30° (см. рис. 87, 88).

§ 20. САМОДЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Демонстрационные катушки. Для изучения магнитного поля тока, проходящего по катушке, а также для некоторых других опытов необходимо изготовить две демонстрационные катушки. Схема намотки катушки и ее внешний вид показаны на рисунке 272. Катушка имеет 10 отчетливо видимых витков диаметром 100 мм. Каждый виток содержит примерно 100 витков провода ПЭ диаметром 0,3—0,5 мм. Нижние соединительные проводники уложены в паз подставки. Концы обмоток выведены к универсальным клеммам.



Отклоняющая магнитная система к электронно-лучевой трубке. На латунном или алюминиевом кольце диаметром 200 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях установлены четыре катушки, имеющие по 2000—3000 витков провода диаметром 0,1 мм (рис. 273).

Катушки навиты на каркас, имеющий внутренний диаметр 8—10 мм; длина катушек 8—10 см.

Магнитная линза. Магнитная линза представляет собой многослойную катушку, намотанную из провода 0,1 мм в эмалевой изоляции. Длина катушки 60 мм, внутренний диаметр равен диаметру трубки, число витков 2000—3000. На рисунке 209 показан внешний вид установки для демонстрации принципа магнитной фокусировки и отклонения электронного пучка магнитным полем.

Рамки для изучения взаимодействия параллельных токов. Размеры рамок составляют 100×200 мм. Каждая рамка состоит из 30—50 витков изолированного провода диаметром 0,2—0,3 мм. Концы рамки выведены на одну из ее коротких сторон.

Парамагнитная среда. При изучении магнитного поля необходимо на опытах показать влияние среды на поле, в частности на пондеромоторное взаимодействие токов, на индукцию магнитного поля и т. д.

Для постановки соответствующих опытов необходима жидкая парамагнитная среда, ибо только в жидкую среду можно поместить индикаторы поля. Магнитная проницаемость среды должна быть в 1,5—2 раза больше магнитной проницаемости воздуха, так как только в этом случае станет заметным влияние среды. Наконец, среда не должна быть вязкой, чтобы не оказывать заметного тормозящего действия на индикаторы.

В природе нет веществ, удовлетворяющих одновременно этим условиям. Даже наиболее сильная парамагнитная жидкость — насыщенный водный раствор хлорида железа ($FeCl_3$) — имеет магнитную проницаемость, близкую к магнитной проницаемости воздуха. Однако, воспользовавшись принципом изготовления магнитодиэлектриков, можно создать парамагнитную жидкость с необходимой магнитной проницаемостью.

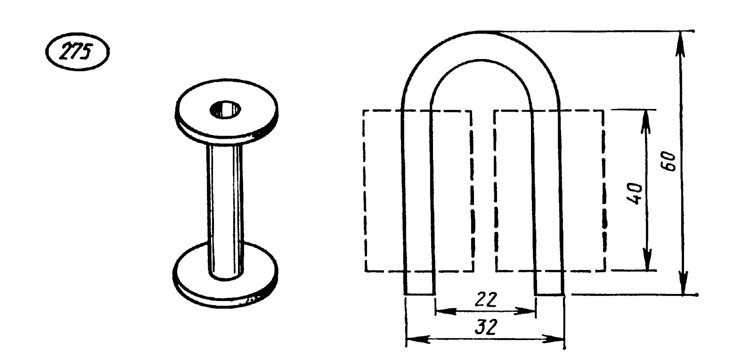
Тонкий ферромагнитный порошок размешивают в глицерине. Размеры зерен порошка во избежание быстрого оседания должны быть порядка нескольких микрон. Такие порошки выпускает наша промышленность для поливки магнитофонных лент.

Если взять отходы от старых магнитофонных лент и заполнить ими плотно закрывающийся сосуд, то, залив эти отходы ацетоном или другим растворителем, можно получить в осадке нужный для получения порошок. Вместо глицерина можно использовать не очень вязкое смазочное масло, а вместо готового порошка — пылеобразную ржавчину или в крайнем случае очень мелкие железные опилки. Однако следует иметь в виду, что в последнем случае опилки быстро оседают и поэтому парамагнитную жидкость надо приготовлять непосредственно перед демонстрацией.

В такой смеси можно рассматривать магнитное поле, усредненное по объемам, бóльшим по сравнению с размерами взвешенных частиц. По отношению к такому среднему полю смесь является однородной и изотропной средой и поэтому может характеризоваться определенным эффективным значением магнитной проницаемости. Магнитная проницаемость зависит от количества размешанного порошка и в не очень сильных полях примерно постоянна.

Хорошо размешанный мелкий порошок и ржавчина в виде пыли не оседают на дно в течение 5—6 ч.

Высоковольтный электромагнит. Электромагнит, обмотка которого выдерживает высокое напряжение, отличается от обычного электромагнита только лучшей изоляцией его катушек от магнитопровода и надежной межслойной изоляцией.



Каркас катушек проще всего изготовить из картона (если есть возможность из электроизоляционного, если нет — из простого). Обмотку следует выполнить эмалированным проводом диаметром не больше, чем 0,1 мм. Каждая обмотка должна иметь 500—600 витков. Каждый слой обмотки изолируется от другого слоем тонкой конденсаторной бумаги.

После изготовления электромагнит надо опустить в сосуд с расплавленным парафином, а сам сосуд поставить под колокол воздушного насоса и хорошо откачать воздух. В результате этой операции парафин заполнит все поры и этим увеличит электрическую прочность электромагнита. На рисунке 275 приведены геометрические размеры магнитопровода и каркаса катушек одного из подобных электромагнитов.

СПИСОК УЧЕБНЫХ КИНОФИЛЬМОВ

№ п/п	Название	Число частей	Год выпуска
	Механика		
1	Относительность механического движения и покоя	фрагм.	1973
2	Система отсчета	фрагм.	1973
3	Сложение перемещений	фрагм.	1971
4	Масса тела	фрагм.	1974
5	Постоянство отношений ускорений взаимодействующих тел	фрагм.	1975
6	Понятие силы	фрагм.	1975
7	О втором законе Ньютона	фрагм.	1975
8	Законы Ньютона	фрагм.	1971
9	О всемирном тяготении	2	1970
10	Опыт Кавендиша	фрагм.	1980
11	Силы природы	2	1981
12	Применение законов Ньютона	1	1975
13	Невесомость	фрагм.	1976
14	Запуск и орбитальный полет космического корабля	фрагм.	1976
15	Движение тела по окружности	2	1973
16	Принцип действия центробежных механизмов	2	1972
17	Принцип относительности Галилея	фрагм.	1973
18	Закон сохранения импульса	1	1977
19	Импульс тела. Закон сохранения импульса	фрагм.	1979
20	Физические основы космических полетов	2	1983
21	Искусственные спутники Земли	2	1980
22	Успехи СССР в освоении космоса. I раздел	3	1972
23	Успехи СССР в освоении космоса. II раздел	2	1974
24	Поперечные и продольные волны	фрагм.	1975
25	Резонанс	2	1980
26	Механический удар	1	1971
27	Движение тела под действием силы тяжести	1	1986
28	Колебания и волны		

16 Заказ 1584

№ п/п	Название	Число частей	Год выпуска
	Молекулярная физика		
1	Молекулы и молекулярное движение .	2	1974
2	Опыт Штерна	фрагм.	1973
3	Насыщенный пар	фрагм.	1979
4	Механические свойства твердых тел .	2	1973
5	Деформация, растяжения и сжатия . .	фрагм.	1979
6	Деформация сдвига	фрагм.	1979
7	Капиллярные явления в природе и технике	2	1982
8	Получение и применение сжатого воздуха . . :	2	1982
9	Давление газа	1	1986
10	Рост кристаллов	фрагм.	1986
11	Жидкие кристаллы	фрагм.	1986
	Электродинамика		
1	Действие магнитного поля на движущийся заряд	фрагм.	1975
2	Гипотеза Ампера	фрагм.	1976
3	Парамагнитные и диамагнитные свойства вещества	фрагм.	1973
4	Сверхпроводимость . . . . . . : : :	1	1978
5	Полупроводники	2	1978
6	Электрический ток в газах	2	1982
7	Электрический ток в различных средах	3	1980
8	Электролиз и его промышленное применение	2	1973
9	Двухэлектродная лампа тлеющего разряда	фрагм.	1970
10	Электронные лампы	2	1974
11	Термоэлектронная эмиссия	фрагм.	1970
12	Электронно-лучевая трубка	1	1983
13	Плазма в неоднородном магнитном поле	фрагм.	
14	Плазма в однородном магнитном поле	фрагм.	
15	Транзисторы и их применение	1	
16	Трансформаторы и их применение . .	1	
17	Фотоэффект		

СПИСОК НАСТЕННЫХ УЧЕБНЫХ ТАБЛИЦ

IX КЛАСС

1. Определение положения тела (точки).
2. Траектория движения.
3. Сложение перемещений и скоростей.
4. Относительность движений (перемещения параллельны).
5. Относительность движений (перемещения перпендикулярны).
6. Силы упругости.
7. Силы тяготения.
8. Сухое трение.
9. Жидкое трение. Преодоление трения в опорах.
10. Невесомость.
11. Перегрузки.
12. Космический корабль «Восток».
13. Равновесие тел.
14. Реактивное движение.
15. Упрощенная схема преобразования энергии.
16. Давление текущей жидкости или газа (без учета трения).

X класс

1. Определение скоростей молекул.
2. Схема железнодорожного тормоза.
3. Применение сжатых газов в пневматическом инструменте.
4. Газовая турбина.
5. Устройство дизеля (схема).
6. Кристаллы.

7, 8. Виды деформаций.

9. Конденсаторы.
10. Магний со сверхпроводящей обмоткой.
11. Криотурбогенератор.
12. Электрическая цепь с источником тока.
13. Разряды в газе при атмосферном давлении.
14. Разряды в газах при пониженном давлении.
15. Вакуумные диоды.
16. Электронно-лучевые трубки.
17. Полупроводниковый диод.
18. Терморезисторы и фоторезисторы.
19. Магнитная запись и воспроизведение звука.

СПИСОК УЧЕБНЫХ ПРИБОРОВ

Приборы общего назначения

Аппарат проекционный
Весы чувствительные с принадлежностями
Водонагреватель
Выпрямитель В-24
Гальванометр демонстрационный М-1032
Измеритель малых перемещений
Источник питания демонстрационный ИПДС
Комплект для изучения вращательного движения[1]
Комплект электроснабжения (КЭФ-10, КЭК)
Наборы гирь
Насос вакуумный
Насос вакуумный с электроприводом
Объектив с оборотной призмой
Осветитель для теневого проецирования и подсвета
Осциллограф электронный ОДШ-3 или ОЭУ-4
Столик подъемный
Счетчик-секундомер электронный (ССЭ-2 или СУ-М)
Тарелка вакуумная
Штативы универсальные

Механика

Барометр-анероид
Блок на стержне
Блок с двумя крючками
Блок с одним крючком
Ведерко Архимеда
Динамометр демонстрационный
Капельница
Мановакуумметр
Манометр демонстрационный
Микроманометр
Наборы динамометров пружинных

---

[1] В комплект включен электродвигатель с принадлежностями.

Набор «Сложения сил»
Насос воздушный ручной
Пресс гидравлический
Прибор для демонстрации невесомости
Прибор для демонстрации независимости действия сил
Прибор для демонстрации законов механики ПДЗМ
Прибор по механике
Прибор «Электроимпульс»
Пульверизатор демонстрационный
Рычаг демонстрационный
Сосуд для опытов с жидкостями
Сосуд сообщающийся
Стакан отливной
Стробоскоп электронный
Тахометр демонстрационный
Тележка самодвижущаяся
Тележка легкоподвижная
Трубка Ньютона
Трибометры демонстрационные ТрД

Механические колебания и волны

Вибратор синусоидальный
Волновая ванна
Генератор низкой частоты школьный
Грузы наборные
Держатель со спиральными пружинами
Камертон «Ля» на резонаторных ящиках
Машина волновая
Маятник в часах
Микрофон электродинамический
Молоточек резиновый для камертонов
Набор из трех шариков
Прибор для записи колебательного движения
Прибор для демонстрации волновых явлений
Пружина спиральная для демонстрации продольных волн
Установка ультразвуковая

Молекулярная физика и теплота

Динамометр проекционный
Наборы капилляров

Огниво воздушное
Прибор для изучения газовых законов
Психрометр
Теплоприемник
Термометр демонстрационный
Термометр электрический
Трубка для демонстрации конвекции в жидкости
Цилиндры свинцовые со стругом

Электричество

Аккумулятор
Амперметр с гальванометром
Амперметр-оммер
Батарея конденсаторов
Батарея солнечная
Ванна с электродами
Вольтметр с гальванометром
Вольтметр-термометр
Выпрямитель универсальный ВУП
Генератор дециметровых электромагнитных волн
Диод вакуумный демонстрационный
Звонок электрический
Источник тока фотоэлектрический (фотоэлементы кремневые) ФЭК-1
Индикатор индукции магнитного поля
Катушка для демонстрации магнитного поля тока
Катушка дроссельная
Комплект выключателей
Комплект демонстрационный по электричеству
Комплект приборов для демонстрации магнитных полей тока
Комплект приборов для изучения свойств электромагнитных волн ПЭВ
Комплект приборов по радиомеханике
Комплект проводов соединительных демонстрационный
Конденсатор переменной емкости демонстрационный
Конденсатор разборный
Магазин сопротивлений демонстрационный МСД
Магнит дугообразный с хвостовиком
Магнит полосовой

Машина магнитоэлектрическая
Машина электрофорная
Маятники электростатические
Набор полупроводниковых приборов
Набор по электролизу
Наборы приставок к демонстрационному гальванометру
Набор радиотехнический
Набор ферро-, пара- и диамагнетиков
Палочка из стекла
Палочка из эбонита
Преобразователь высоковольтный
Прибор для демонстрации взаимодействия параллельных токов
Прибор для демонстрации взаимодействия электронных пучков с магнитным полем
Прибор для демонстрации вращения рамки с током в магнитном поле
Прибор для демонстрации зависимости сопротивления металлов от температуры
Прибор для демонстрации зависимости сопротивления проводника от его длины, поперечного сечения и материала
Прибор для демонстрации магнитной записи звука
Прибор для демонстрации правила Ленца
Прибор «Электроника» И1-01
Прибор электроизмерительный комбинированный 43208
Реостат ползунковый РПШ-0,6
Реостат ползунковый РПШ-1 (1 А)
Реостат ползунковый РПШ-2
Реостат ползунковый РПШ-5
Стрелка магнитная на подставке
Султаны электрические
Термостолбик
Трансформатор универсальный
Трубка латунная на изолирующей ручке
Трубка с двумя электродами
Усилитель низкой частоты
Усилитель к гальванометру
Штативы изолирующие
Электромагнит разборный
Электрометр

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энгельс Ф. Диалектика природы. — М., 1969. — С. 199.

2. Борн М. Физика в жизни моего поколения. — М., 1963. — С. 146.

3. Ишлинский А. Ю. Механика: Идеи, задачи, приложения. — М., 1985.

4. Кузьмин А. П., Покровский А. А. Опыты по физике с проекционной аппаратурой. — М., 1956.

5. Луи де Бройль. По тропам науки. — М., 1962.

6. Ньютон И. Математические начала натуральной философии//Собр. трудов А. Н. Крылова. — М., 1936. — Т. 7. — С. 21.

7. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе/Под ред. А. А. Покровского. — М., 1978, 1979. — Ч. 1, 2.

8. Тюлина И. А. История и методология механики.—М., 1973.—С. 103—104.

9. Шателен М. А. Русские электротехники второй половины XIX в. — М., 1949. — С. 32.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел III. Электродинамика

Учебное издание

Шахмаев Николай Михайлович
Шилов Валентин Федорович

ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

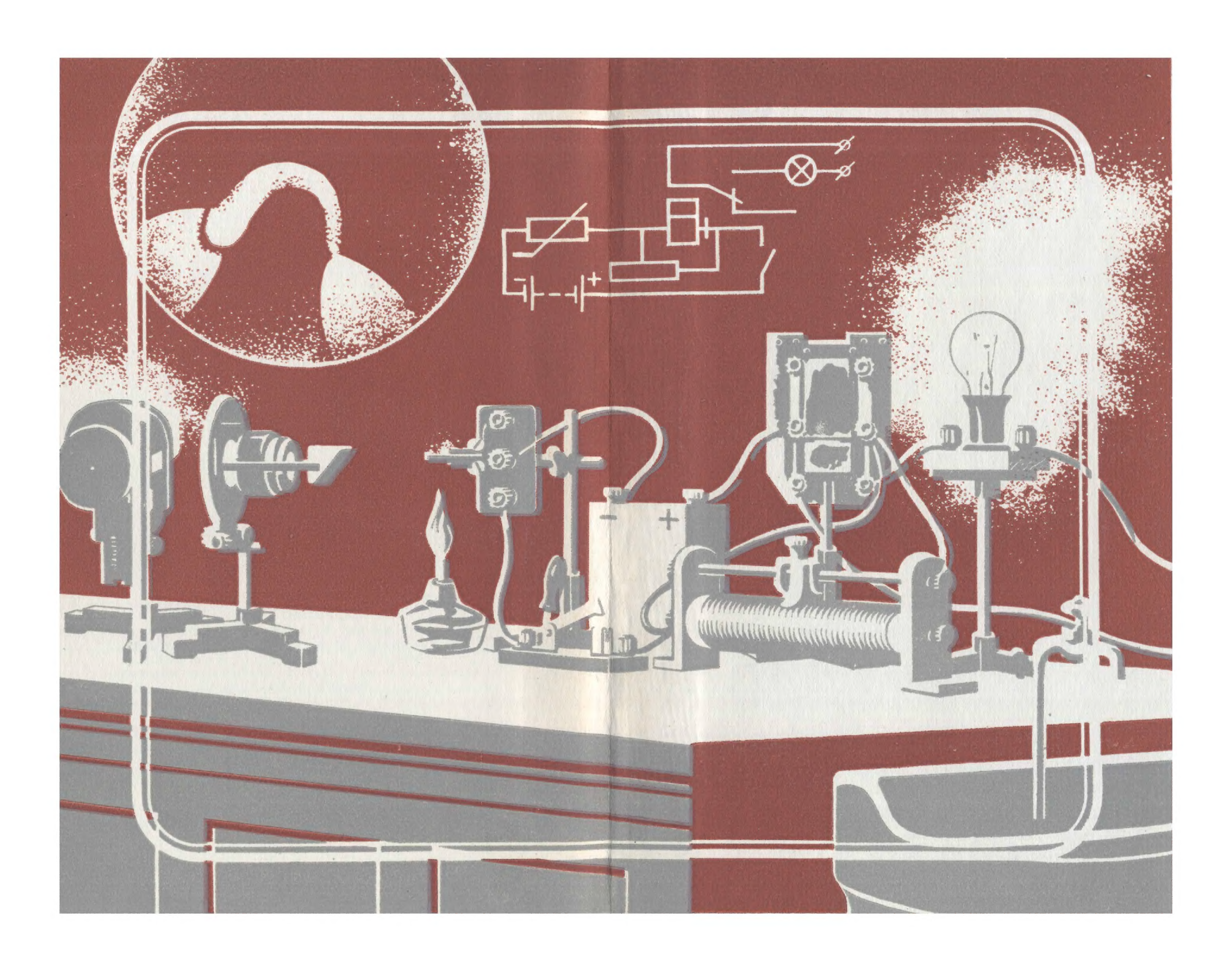
Зав. редакцией *В. А. Обменина*
Редактор *Т. П. Каткова*
Младший редактор *О. В. Агапова*
Художественный редактор *В. М. Прокофьев*
Художники *С. Г. Бессонов, А. В. Ермаков*
Технические редакторы *З. А. Муслимова, Н. Н. Матвеева*
Корректор *И. Н. Панкова*

ИБ № 11411

Сдано в набор 24.01.89. Подписано к печати 07.09.89. Формат 60×90[1]/16. Бум. типогр. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 16+0,25 форз. Усл. кр.-отт. 16,44. Уч.-изд. л. 17,16+ +0,30 форз. Тираж 127 400 экз. Заказ 1584. Цена 65 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Областная типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Ивановского облисполкома, г. Иваново-8, ул. Типографская, 6.



65 коп.

